

PATENT  
8008-1004

4/Priority  
P. Walker  
51413  
J1040 U.S. PTO  
10/091487  
03/07/02

IN THE U.S. PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Masaki TSUNEKANE et al. Conf.:  
Appl. No.: NEW Group:  
Filed: March 7, 2002 Examiner: Unassigned  
For: LASER-DIODE-PUMPED SOLID-STATE LASER  
APPARATUS AND STATUS DIAGNOSTIC  
METHOD OF THE SAME.

CLAIM TO PRIORITY

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, DC 20231

March 7, 2002

Sir:

Applicant(s) herewith claim(s) the benefit of the  
priority filing date of the following application(s) for the  
above-entitled U.S. application under the provisions of 35  
U.S.C. § 119 and 37 C.F.R. § 1.55:

Country  
Japan

Application No.  
2001-063331

Filed  
March 7, 2001

Certified copy(ies) of the above-noted application(s)  
is(are) attached hereto.

Respectfully submitted,

YOUNG & THOMPSON

*Benoit Castel*

Benoit Castel, Reg. No. 35,041

745 South 23<sup>rd</sup> Street  
Arlington, VA 22202  
Telephone (703) 521-2297

BC/yr

Attachment(s): 1 Certified Copy(ies)

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

J1040 U.S. PTO  
10/091487  
03/07/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 3月 7日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-063331

[ ST.10/C ]:

[ JP2001-063331 ]

出 願 人

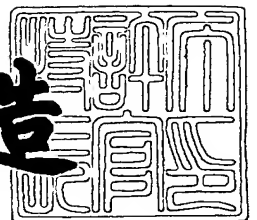
Applicant(s):

日本電気株式会社

2002年 1月18日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3117255

【書類名】 特許願

【整理番号】 70902900

【提出日】 平成13年 3月 7日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/00  
H01S 3/02

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 常包 正樹

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 向原 克治

【特許出願人】

【識別番号】 000004237

【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100114672

【弁理士】

【氏名又は名称】 宮本 恵司

【電話番号】 042-730-6520

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 093404

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0004232

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ励起固体レーザ装置及び該装置の状態診断方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

励起光を吸収し所定の波長の光を発生あるいは増幅する固体レーザ媒質と、前記励起光を発生しかつ発生した励起光を直接、あるいは光学素子を介して該レーザ媒質に導入する半導体レーザ光源とを少なくとも有する固体レーザ装置において、

該固体レーザ装置を構成するレーザ共振器内の、該共振器内で発生するレーザ発振光の光軸の近傍かつ光軸を遮らない位置に、該固体レーザ媒質から発生する蛍光の量を検出する蛍光検出手段を備えたことを特徴とする半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項 2】

前記励起光が、前記レーザ発振光の光軸に対して略直交する方向から導入されることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項 3】

前記蛍光検出手段が、前記レーザ発振光の光軸の近傍かつ光軸を遮らない位置に配設された光学的手段と、前記光学的手段に導かれた前記蛍光を検出する光検出器とからなることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項 4】

前記光学的手段が、該固体レーザ媒質から発せられた前記蛍光を反射させるミラーを含み、該ミラーに反射された前記蛍光が、空間伝搬して所定の位置に配設された前記光検出器に入射することを特徴とする請求項 3 記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項 5】

前記ミラーがパラボラ型形状に形成され、該ミラーに反射された前記蛍光が、空間伝搬して前記光検出器に集光することを特徴とする請求項 4 記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項 6】

前記光学的手段が、前記蛍光の波長において透明な媒質を備え、該媒質の一端から入射した前記蛍光が、該媒質内部を伝播して他端に配設された前記光検出器に入射することを特徴とする請求項 3 記載の半導体レーザー励起固体レーザー装置。

【請求項 7】

前記光学的手段が、前記レーザー発振光の光路の一部において光軸の周囲を取り囲むように形成され、前記光学的手段に設けた開口の端部から入射した前記蛍光が、外周側端部の所定の位置に配設された前記光検出器に導かれることを特徴とする請求項 6 記載の半導体レーザー励起固体レーザー装置。

【請求項 8】

前記光学的手段が、円板形状、多角形状又は楕円形状をなすことを特徴とする請求項 7 記載の半導体レーザー励起固体レーザー装置。

【請求項 9】

前記楕円形状の第 1 の焦点に前記開口の中心が配置され、第 2 の焦点に前記光検出器が配置されていることを特徴とする請求項 8 記載の半導体レーザー励起固体レーザー装置。

【請求項 10】

前記光学的手段の外周のうち、前記光検出器近傍を除く領域に前記蛍光を反射する反射手段を備え、前記開口側端部から入射した前記蛍光が前記反射手段によって反射されて前記光検出器に導かれることを特徴とする請求項 7 乃至 9 に記載の半導体レーザー励起固体レーザー装置。

【請求項 11】

前記光検出器が、前記光学的手段の外周全周にわたって複数配設され、該複数の光検出器の出力を比較することにより、前記レーザー光の軸対象性又は劣化した前記半導体レーザー光源の特定が行われることを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の半導体レーザー励起固体レーザー装置。

【請求項 12】

前記開口が、前記レーザー媒質の径よりも小さく設定されていることを特徴とする請求項 7 乃至 11 のいずれかに記載の半導体レーザー励起レーザー装置。

【請求項 1 3】

前記透明な媒質が、ガラスを母材として形成されていることを特徴とする請求項 6 乃至 1 2 のいずれかに記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項 1 4】

前記透明な媒質が、前記励起光の波長の光を選択的に減衰させる材料、又は、レーザ発振に利用されない蛍光の輝線スペクトルの波長を選択的に透過する材料で形成されていることを特徴とする請求項 6 乃至 1 3 のいずれかに記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項 1 5】

前記光検出器に到達する前記蛍光の光路上に、前記励起光の波長の光を選択的に減衰させるフィルターを備えることを特徴とする請求項 1 乃至 1 4 のいずれかに記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項 1 6】

前記光検出器に到達する前記蛍光の光路上に、前記固体レーザ媒質から発せられる前記蛍光のうち、レーザ発振に利用されない蛍光の輝線スペクトルの波長を選択的に透過するフィルターを備えることを特徴とする請求項 1 乃至 1 5 のいずれかに記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項 1 7】

前記半導体レーザ光源が、複数の半導体レーザ素子と、該複数の半導体レーザ素子を所定数のグループに分けて駆動する電源と、前記電源の駆動電流を制御する制御手段とを含み、前記光検出器で検出される前記蛍光の強度に応じて、前記グループごとの駆動電流が前記制御手段によって調整されることを特徴とする請求項 1 乃至 1 6 のいずれかに記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項 1 8】

励起光を吸収し所定の波長の光を発生あるいは増幅する固体レーザ媒質と、前記励起光を発生しかつ発生した励起光を直接、あるいは光学素子を介して該レーザ媒質に導入する半導体レーザ光源と、該固体レーザ装置を構成するレーザ共振器内の、該共振器内で発生するレーザ発振光の光軸の近傍かつ光軸を遮らない位置に設けられた蛍光検出手段とを少なくとも有する固体レーザ装置の状態診断方

法であって、

該固体レーザ媒質から発生する蛍光の量を前記蛍光検出手段で検出し、前記蛍光の量と予め定めた値又は予め測定した値とを比較することによって、前記半導体レーザ光源の劣化状況を診断することを特徴とする半導体レーザ励起固体レーザ装置の診断方法。

【請求項 1 9】

前記蛍光検出手段が、前記レーザ発振光の光軸の近傍かつ光軸を遮らない位置に配設された光学的手段と、前記光学的手段に導かれた前記蛍光を検出する光検出器とからなることを特徴とする請求項 1 8 記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置の診断方法。

【請求項 2 0】

前記光学的手段が、該固体レーザ媒質から発せられた前記蛍光を反射させるミラーを含み、該ミラーで反射した前記蛍光を、空間伝搬させて所定の位置に配設した前記光検出器に入射させることを特徴とする請求項 1 8 又は 1 9 に記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置の診断方法。

【請求項 2 1】

前記ミラーをパラボラ型形状に形成し、該ミラーで反射した前記蛍光を、空間伝搬させて前記光検出器に集光させることを特徴とする請求項 2 0 記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置の診断方法。

【請求項 2 2】

前記光学的手段が、前記蛍光の波長において透明な媒質を備え、該媒質の一端から入射した前記蛍光を、該媒質内部を伝播させて他端に配設した前記光検出器に入射させることを特徴とする請求項 1 8 又は 1 9 に記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置の診断方法。

【請求項 2 3】

前記光学的手段を、前記レーザ発振光の光路の一部において光軸の周囲を取り囲むように形成し、前記光学的手段に設けた開口の端部から入射した前記蛍光を、外周側端部の所定の位置に配設した前記光検出器に導くことを特徴とする請求項 2 2 記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置の診断方法。

## 【請求項 2 4】

前記光学的手段が、円板形状、多角形状又は楕円形状をなすことを特徴とする請求項 2 3 記載の半導体レーザー励起固体レーザー装置の診断方法。

## 【請求項 2 5】

前記楕円形状の第 1 の焦点に前記開口の中心を配置し、第 2 の焦点に前記光検出器を配置することを特徴とする請求項 2 4 記載の半導体レーザー励起固体レーザー装置の診断方法。

## 【請求項 2 6】

前記光学的手段の外周のうち、前記光検出器近傍を除く領域に前記蛍光を反射する反射手段を備え、前記開口側端部から入射した前記蛍光を前記反射手段によって反射して前記光検出器に導くことを特徴とする請求項 2 3 乃至 2 5 のいずれかに記載の半導体レーザー励起固体レーザー装置の診断方法。

## 【請求項 2 7】

前記光検出器を、前記光学的手段の外周全周にわたって複数配設し、該複数の光検出器の出力を比較することにより、前記レーザー光の軸対象性又は劣化した前記半導体レーザー光源の特定を行うことを特徴とする請求項 2 3 又は 2 4 に記載の半導体レーザー励起固体レーザー装置の診断方法。

## 【請求項 2 8】

前記開口を、前記レーザー媒質の径よりも小さく設定し、広がり角の大きいレーザービームを前記媒質により抑制することにより、前記レーザー光の広がり角を制御することを特徴とする請求項 2 3 乃至 2 7 のいずれかに記載の半導体レーザー励起レーザー装置の診断方法。

## 【請求項 2 9】

前記光検出器に到達する前記蛍光の光路上に、前記励起光の波長の光を選択的に減衰させるフィルター、又は、前記固体レーザー媒質から発せられる前記蛍光のうち、レーザー発振に利用されない蛍光の輝線スペクトルの波長を選択的に透過するフィルターの少なくとも一方を備えることを特徴とする請求項 1 8 乃至 2 8 のいずれかに記載の半導体レーザー励起固体レーザー装置の診断方法。

## 【請求項 3 0】



前記透明な媒質が、前記励起光の波長の光を選択的に減衰させる材料、又は、レーザ発振に利用されない蛍光の輝線スペクトルの波長を選択的に透過する材料で形成されていることを特徴とする請求項 1 8 乃至 2 8 のいずれかに記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置の診断方法。

【請求項 3 1】

前記半導体レーザ光源が、複数の半導体レーザ素子と、該複数の半導体レーザ素子を所定数のグループに分けて駆動する電源と、前記電源の駆動電流を制御する制御手段とを含み、前記光検出器で検出される蛍光の強度に応じて、前記グループごとの駆動電流を前記制御手段によって調整することを特徴とする請求項 1 8 乃至 3 0 のいずれかに記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置の診断方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体レーザ励起固体レーザ装置及び該装置の状態診断方法に関し、特に、半導体レーザの劣化診断を簡便かつ容易に行うことができる信頼性の高い半導体レーザ励起固体レーザ装置及び該装置の状態診断方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

N d : Y A G をはじめとする固体レーザ媒質の光による励起方式として、ランプに比べレーザ媒質への吸収効率が高く、小型・高効率・長寿命の半導体レーザダイオード（以下 L D と記す）を励起光源とする、いわゆる L D 励起固体レーザが近年注目されている。特に近年、1 つの共振器内に数百個の L D を用いてキロワットにいたるレーザ出力を放出する L D 励起固体レーザ装置も開発されている。

【0 0 0 3】

L D はランプに比べ 1 0 倍以上寿命が長く、連続して 1 0、0 0 0 時間程度使用できるといわれている。しかしながらこの時間は平均的なもので、個々の L D では数千時間程度で出力が低下するものも混在しており、初期的な L D の選別でそれらを完全に認識、取り除くことは困難である。また、L D は固体レーザ装置

に実装された状態においても、静電気や電源からの電氣的なサージ、戻り光、埃やガス、結露などの外乱や外部環境によっても寿命が著しく短くなるために、レーザ装置の信頼性向上、早期の故障対応には何らかの手段によってLDからの励起光の光量を検出し、その劣化の度合いを把握する必要がある。

## 【 0 0 0 4 】

そこで、10W以下の低出力動作用LDでは、通常LDチップの出射面（前面）の反対側の高反射面（裏面）からわずかに漏れる励起光を、LDパッケージ内に配設した光検出器でエネルギーを検出して励起光量の制御或いはLDの劣化検出に利用している。

## 【 0 0 0 5 】

また、従来より固体レーザ共振器を構成する出力ミラーから共振器の外部へ出射されるレーザ発振光を一部分岐したり、出力ミラー以外のミラーから漏れ出る発振光のエネルギーを光検出器で測定することで、レーザ出力の制御やLDの劣化検出に用いる方法も用いられている。

## 【 0 0 0 6 】

また、蛍光強度あるいは蛍光分布をレーザ発振光軸に沿った方向あるいはその延長線上で検出する方法も提案されている。図15、図16は、特開2000-269576号公報に記載されている実施例であり、固体レーザロッドからレーザ発振光軸に沿って出射された蛍光をモニター用ミラーで分岐し、CCDカメラによりその励起分布を結像・観測し、その画像から励起分布を均一にするためにそれぞれのLDの駆動電流を独立に調節する方法が提案されている。この従来技術について以下に説明する。

## 【 0 0 0 7 】

この従来例では、図16に示すように、各LD102～107の駆動電流の値を設定する際、まず固体レーザ共振器のミラーをはずした状態で励起を行い、その励起分布が均一になるようにCCDカメラ130で励起分布を観察しながら可変抵抗122～127で調整したのち、再び共振器ミラーを取り付ける方法が記載されている。また、図15に示すように、共振器ミラー120、121を取り付けた状態で、蛍光分布測定時のみ共振器内に折り返しミラー128を挿入し、

この折り返しミラー 1 2 8 を通してレーザロッド 1 0 1 からの蛍光を C C D カメラ 1 3 0 で観察するという方法も提案されている。

【 0 0 0 8 】

さらに、この従来例では、L D の駆動電源 1 1 7 を小型化し、配線を簡略化し、さらに各 L D 1 0 2 ~ 1 0 7 の駆動電流を独立に調整する方法として、全ての L D を直列に接続して 1 つの電源 1 1 7 で駆動し、各 L D 1 0 2 ~ 1 0 7 に可変抵抗 1 2 2 ~ 1 2 7 を並列に接続して各 L D に流れる電流値を制御する方法が記載されている。

【 0 0 0 9 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、現在普及している 2 0 W 以上の高出力動作の L D チップは発光面が 1 c m 程度の長さを有しているため、後方に設ける光検出器で 1 c m 幅すべての光を検出するためには幅の広い検出器が必要になることや、該チップの裏面からでも漏れる光量が大きいため、光検出器の前に減光のフィルターを設けないと光検出器の出力が飽和してしまうことなどから光検出の構成が複雑になり、コストも高くなるために、通常、高出力動作 L D ではパッケージ自体に光量検出を行う機構を設けていないことが多い。さらにスタックと呼ばれる、L D を狭い間隔で半導体層に対して垂直方向に積層させる構成の場合、裏面に光検出器を設ける十分な場所がないという理由もあり、光検出機能は通常設けられていない。このため高出力 L D を用いた高出力の固体レーザ装置の場合、L D の劣化を直接検出することはできなかった。

【 0 0 1 0 】

また、発光面 1 c m 程度の長さの L D 素子が安定して動作できる光出力は 2 0 W から最大で 8 0 W 程度である。したがってこれ以上高い励起を必要とする高出力レーザ装置の場合にはこの L D をさらに複数個用いる必要がある。例えば、固体レーザ装置からキロワット級のレーザ出力を得るためには 1 つの固体レーザ媒質に対して数十から百個程度、またはそれ以上の L D を励起源として使う場合があり、非常に多くの L D を同時に用いる場合、個々の L D 素子にそれぞれ独立した駆動電源を設けていたのでは電源の数が非常に多くなり、広い設置体積が必要

な上に、配線も煩雑になり運転効率も悪い。そこで数個から数十個の複数のLDを1つのグループとして電氣的に直列に接続を行い駆動することが通常である。

#### 【0011】

このように多数個のLDを直列に駆動する場合、仮に個々のLDに光検出機能を設け、それによってそのうちの特定のLDの出力低下を検出できても、複数個のLDが電氣的に直列に接続されているために、特定のLDのみの駆動電流を増加させてそのLDのみの出力低下を補償することはできない。例えば、駆動電流を増加させて特定のLDの出力を補償する場合、出力低下を起こしていない他の多くのLDでは出力が当初の値より増大するため、そのグループ全体としては励起光出力が大幅に増大し、固体レーザ出力も当初設定した値を大きく越えて増加したり、他のグループのLDとの励起のバランスが崩れ、逆に固体レーザ出力が低下したり、不安定になったり、出射ビームの品質が低下したりする恐れがある。さらに数十個以上の個々のLDに光検出器が備えた場合、それらを制御するための配線や回路が非常に複雑になり装置のコストが高くなる。

#### 【0012】

また、従来より知られている方法として、固体レーザ共振器の外部に取り出されるレーザ発振光量を検出して、間接的にLDの劣化の度合いを知ることは可能である。しかし、共振器からの発振光量はLDの劣化によって低下するばかりでなく、共振器ミラーのアライメントのずれやミラー自身の汚れ、損傷、レーザ媒質の変質や損傷そのコーティング膜の汚れなどによっても著しく低下し、むしろ頻度としてはLD以外の原因の場合の方が高いために、レーザ発振光の光量からLDの劣化の度合いを分離して把握することは難しい。

#### 【0013】

また、図15及び図16に示した従来の方法では、レーザ光軸に沿ってあるいはその延長上にCCDカメラを設置する必要性と、レーザ発振させると強いレーザ光の影響で蛍光分布が見えなくなるために、蛍光分布を測定する際に、共振器ミラーを一端はずしたり、あるいは一時的に共振器内に折り返しミラーを挿入して、固体レーザ装置として発振させないようにする必要がある、稼働状態でのLDの劣化検出が出来ないため、実用性に乏しい。加えて、高いレーザ出力を得る

目的でレーザ装置内に複数のレーザロッドが配置されている場合、レーザ発振光軸に沿った1つの方向から1台のCCDカメラで長尺なレーザロッド、あるいは複数のレーザロッド内の蛍光分布を一度に観測することは結像の焦点距離などから極めて困難であるため、複数のCCDあるいは、複数の折り返しミラー、さらにはさまざまな焦点距離の結像レンズ等が必要になり、光学系が極めて複雑かつコストが高くなってしまう。

## 【0014】

さらに、従来図で示したように、全てのLDを直列に接続して1つの電源で駆動する場合、直列に接続するLDの数が20～30個を越え、駆動電圧が40Vを越えた場合、逆に電源が非常に大型になる。これは特に駆動電圧の上昇に対応して電源を構成している電子部品が急激に大型になるためであり、搭載するLDの数が多い場合、20～30個のLDを1つのグループとして電源を分けた方が電源全体としては小型になる。また、1つの電源で大電流、高電圧を扱う場合、電子部品の冷却方法や耐久性、信頼性の低下、個々の部品が大型化することによる交換、保守のしづらさも実用的に大きな問題である。さらに加えて可変抵抗で個々のLDへの駆動電流を制御した場合、抵抗における発熱やドリフト、運転効率低下の問題も生じる。

## 【0015】

さらに、本願発明者が実際にレーザ装置を試作して得た知見として、数十から数百個のLDを用いて1つあるいは数個のレーザロッドを励起する場合、個々のLDの電流値を変化させても、それが蛍光分布全体に及ぼす変化量の割合は小さく、むしろ電源から各LDに供給されている電流値の時間変動や熱変動、リップル、検出器の検出揺らぎやノイズの影響による蛍光の変動量の方が大きいために、現実には個々のLDの駆動電流を制御する機構を設けても有効に機能しない。

## 【0016】

さらに、全てのLDを1つの電源で駆動した場合の問題点として、電源に何らかの部品の不良あるいは制御システムの不具合、使用者による誤操作、さらには落雷、停電などの外部的要因によってLDの許容範囲を超える過大電流が流れた場合、全てのLDが同時に一様に破壊されてしまうことになる。

## 【 0 0 1 7 】

本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであって、その主たる目的は、LD励起固体レーザ装置におけるLDの劣化の度合いを常時、正確に把握することができる信頼性の高いレーザ装置を提供することにある。特に、数十個から数百個におよぶ多数個のLDを搭載した固体レーザ装置において、LDの劣化の度合いとその劣化した部位を正確かつ簡便な構成で把握、検出できる信頼性の高いレーザ装置を提供することにある。

## 【 0 0 1 8 】

また、本発明の他の目的は、劣化したLDの度合いに応じて固体レーザ媒質への励起の度合いを補正、調整するための簡便な方法を提供することにある。

## 【 0 0 1 9 】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明は、励起光を吸収し所定の波長の光を発生あるいは増幅する固体レーザ媒質と、前記励起光を発生しかつ発生した励起光を直接、あるいは光学素子を介して該レーザ媒質に導入する半導体レーザ光源とを少なくとも有する固体レーザ装置において、該固体レーザ装置を構成するレーザ共振器内の、該共振器内で発生するレーザ発振光の光軸の近傍かつ光軸を遮らない位置に、該固体レーザ媒質から発生する蛍光の量を検出する蛍光検出手段を備えたものであり、前記蛍光検出手段が、前記レーザ発振光の光軸の近傍かつ光軸を遮らない位置に配設された光学的手段と、前記光学的手段に導かれた前記蛍光を検出する光検出器とからなる構成とすることができる。

## 【 0 0 2 0 】

本発明におけるLD劣化検出は、レーザ発振光ではなくレーザ媒質から発せられる蛍光の光量を測定するというものである。蛍光の量は、レーザ媒質内で吸収された励起光量に比例するため、波長の変化による吸収量の変化の効果・情報も含まれており、特にLDの場合、ランプと異なり動作温度によって波長が大きく変化するために、単純にLDから出射される励起光量を測定するよりも正確に励起の状況、LDの劣化による波長変化の様子なども知ることができる。

## 【 0 0 2 1 】

加えて、蛍光は共振器ミラーのアライメントのずれや汚れなどによって光量がまったく影響を受けない。レーザ媒質自身の変質や損傷そのコーティング膜の汚れなどによって低下するが、その度合いはレーザ発振光の変化に比べれば遥かに小さい。これは蛍光が励起光が照射されているレーザ媒質全体から放射されるため、レーザ発振光よりも局所的な変化の影響を受け難いためである。

## 【 0 0 2 2 】

しかしながら、レーザ光と違い蛍光は指向性が弱く、発生すると伝播しながらすぐに広がって散逸するために、その検出はなるべくレーザ媒質に近い位置で行うことが望ましい。固体レーザ媒質の外側の周囲は通常金属などで覆われ蛍光が遮られてしまうが、レーザ発振光の光軸近傍であれば、レーザ媒質が光学的に露出しており、かならず蛍光が観測できる。しかし、光軸近傍でも共振器の外側では共振器のミラーで蛍光も反射されてしまうために、レーザ共振器内で計測することが望ましい。

## 【 0 0 2 3 】

ここで、共振器内で蛍光量を計測する場合、計測のための光計測器あるいはそこに蛍光を導くための光学的手段、あるいは光検出器そのものがレーザ発振光の光軸を遮ってしまつてはレーザ発振自体が阻害されるために、稼働状態で常時蛍光量を検出するためには光軸を遮らない程度に近接させる必要がある。

## 【 0 0 2 4 】

本願発明者が実際にレーザ装置を試作して実験的に得た知見として、レーザ媒質内での励起光の励起分布は、LDとレーザ媒質との機械的な位置構成が決まれば、その蛍光量あるいはその相対値だけを検出すれば良く、励起分布そのものをCCDカメラで検出する必要はなく、さらに蛍光量を測定すれば励起の効率がわかるが、それが一定の値であれば励起の分布の状態も常に一定の状態に保たれることがわかった。従って、蛍光量はレーザ光の光軸上で検出する必要はなく、レーザ光に比べて広がり大きいことを利用して、レーザ光の光軸を遮らない程度に離れたところで検出すればよい。また、常に同じ位置で計測することで蛍光量全体との比率は常に一定に保たれるため、励起の全体の状態を正確に知ることが出来る。

【 0 0 2 5 】

本発明においては、前記励起光が、前記レーザ発振光の光軸に対して略直交する方向から導入される構成とすることができる。

【 0 0 2 6 】

固体レーザ媒質により数多くのLDからの励起光を照射しようという場合、励起光の光軸を固体レーザ媒質でのレーザ発振光の光軸に対して垂直に、かつ発振光の光軸に沿って配置するいわゆる側面励起という手法が有効であり、本発明では、LDからの励起光を直接測定するのではなく、固体レーザ媒質からの蛍光量を測定するため、LDと固体レーザ媒質との位置関係や励起方法に依存せず測定が可能であり、励起光の光軸が固体レーザ媒質でのレーザ発振光の光軸に対して垂直に設定される場合であっても適用することができる。

【 0 0 2 7 】

また、本発明においては、前記光学的手段が、該固体レーザ媒質から発せられた前記蛍光を反射させるミラーを含み、該ミラーに反射された前記蛍光が、空間伝搬して所定の位置に配設された前記光検出器に入射する構成とすることができる。

【 0 0 2 8 】

光検出器を直接レーザ共振器内のレーザ発振光路に近づける場合、光検出器の形状や大きさのために近づけられなかったり、設置位置に制約が生じる場合がある。そこで光検出器をレーザ発振光の光軸から離れたところに設置し、レーザ発振光の光軸にはレーザ媒質からの蛍光が照射され、かつ照射された蛍光を光検出器に向けて反射させる手段を設けることで、直接光検出器をレーザ発振光路に近接させなくとも、蛍光を検出することができる。

【 0 0 2 9 】

また、本発明においては、前記光学的手段が、前記蛍光の波長において透明な媒質を備え、該媒質の一端から入射した前記蛍光が、該媒質内部を伝播して他端に配設された前記光検出器に入射する構成とすることもできる。

【 0 0 3 0 】

蛍光は指向性が弱いために、レーザ発振光路近傍から離れた位置に設置した光



検出器まで空間伝播させた場合、急激に広がってしまい、検出に十分な光量が取れない場合がある。そこで、蛍光の波長において透明な媒質を用い、その媒質の一部をレーザ発振光路に近接させ、また別の一部に媒質内を伝播した蛍光を受光するように光検出器を配設することにより、蛍光を媒質内に閉じ込めて伝播させ、蛍光が光検出器に到達するまでに著しく拡散・散逸しないようにするというものである。その際、レーザ発振光路に近づける媒質の部分を、薄く或いは細く加工することで狭いレーザ共振器内のレーザ光路にも容易に挿入・近接させることができる。さらにレーザ発振光路に近づける媒質の部分の形状を蛍光が効率よく媒質内に導入、光検出器まで効率よく伝播するように媒質の表面の形状を加工あるいは表面に所定の反射率を有するコーティングを施してもよい。

## 【 0 0 3 1 】

また、本発明においては、前記光学的手段が、前記レーザ発振光の光路の一部において光軸の周囲を取り囲むように形成され、前記光学的手段に設けた開口の端部から入射した前記蛍光が、外周側端部の所定の位置に配設された前記光検出器に導かれる構成とすることもできる。光軸の周囲を取り囲むように蛍光の波長において透明な媒質を配設することで、微弱な蛍光まで効果的に収集、取り出し、検出することができる。

## 【 0 0 3 2 】

更に、本発明においては、前記開口が、前記レーザ媒質の径よりも小さく設定されている構成とすることもできる。レーザ共振器内の発振光光軸の周囲に十分に近接して媒質を取り囲むことで、蛍光の検出と同時にレーザ発振光の発振横モードの制御や共振器外からの戻り光の分離を行うことができる。例えば、特願平 1 0 - 2 5 3 1 1 6 号公報にはレーザ光路上に配設してレーザ光のメインビームと迷光成分を分離する非吸収型の円形のアパーチャが記載されているが、このアパーチャの外形側面に近接して光検出器を配設することで、アパーチャ内部を伝播する蛍光も同時に検出することができる。

## 【 0 0 3 3 】

また、本発明においては、前記透明な媒質が、ガラスを母材として形成されていることが好ましい。ガラスを母材とすれば安価で形状の加工が容易であり、し

かも内部を蛍光が吸収されることなく光検出器まで伝播させることができる。

【 0 0 3 4 】

また、本発明においては、前記光検出器に到達する前記蛍光の光路上に、前記励起光の波長の光を選択的に減衰させるフィルターを備える構成とすることもできる。

【 0 0 3 5 】

励起の形態によっては、固体レーザー媒質から発せられる蛍光を検出するための受光面に励起光が同時に混入する可能性がある。レーザー発振光軸と励起光の光軸とが平行な場合、レーザー媒質内で吸収されなかった大量の励起光がレーザー媒質外へ抜け出て、レーザー媒質からの蛍光と同時に光検出器の受光面に混入する可能性がある。

【 0 0 3 6 】

この場合、例えば励起光の波長が変化し、レーザー媒質の吸収波長からずれた場合、レーザー媒質からの蛍光量は減少するにもかかわらず、励起光は固体レーザー媒質での吸収が減るために外に漏れ出す光量が増加し、全体として光検出器の受光面に達する光の光量は両者の光量の合計によって大きく変化し、場合によって増加して検出される。したがって蛍光そのものは減少したと言う正しい情報が伝わらない。そこで蛍光が光検出器の受光面に到達する光路上に、励起光の波長の光を選択的に減衰するフィルターを備えることで蛍光のみを選択的に受光することができる。

【 0 0 3 7 】

また、本発明においては、前記光検出器に到達する前記蛍光の光路上に、前記固体レーザー媒質から発せられる前記蛍光のうち、レーザー発振に利用されない蛍光の輝線スペクトルの波長を選択的に透過するフィルターを備える構成とすることもできる。

【 0 0 3 8 】

固体レーザー装置の発振が始まると光軸に近い位置あるいはその位置からの反射あるいは導波光を検出する光検出器の受光面には、設置位置によっては蛍光のみならず非常に強度の強い発振光の散乱光が照射され、検出器の出力が飽和したり

、また飽和を避けるために信号増幅器の利得を下げた場合、発振前の蛍光強度が十分な精度で測定できない可能性がある。さらに光検出器に入射する発振光が非常に強い場合、光検出器自体を破壊してしまったり性能を劣化させてしまう可能性がある。

## 【 0 0 3 9 】

そこで、固体レーザ媒質から発せられる蛍光がもともと広がりを持っていることを利用し、そのうちのレーザ発振に利用されないスペクトルの波長のみを透過するフィルターを備えることで、レーザ媒質が発振しても検出器に入射する蛍光の量は大幅に増えないために、光検出器を飽和させたり破壊したりすることがない。

## 【 0 0 4 0 】

また、本発明においては、前記半導体レーザ光源が、複数の半導体レーザ素子と、該複数の半導体レーザ素子を所定数のグループに分けて駆動する電源と、前記電源の駆動電流を制御する制御手段とを含み、前記光検出器で検出される前記蛍光の強度に応じて、前記グループごとの駆動電流が前記制御手段によって調整される構成とすることができる。

## 【 0 0 4 1 】

上記従来例で述べたように、固体レーザ装置内で励起用として非常に多くのLDを同時に用いる場合、数個から数十個の複数のLDを1つのグループとして電気的に直列に接続して駆動するのが一般的であるが、単にグループに分けて駆動するだけでなくそれぞれがグループの電源単位に単独で動作できるように電気回路を構成し、それぞれを独立に駆動させたときの固体レーザ媒質からの蛍光量を測定することで、個々のLDあるいはグループ内のLDの出力、波長などの動作状況を個別に検出、制御することができ、また故障したLD或いは故障したLDを含むグループを特定することができる。

## 【 0 0 4 2 】

また、故障したLDおよびそれを含む最小限の数のグループのLDだけを交換することで、他の正常なLDおよび含まれるすべてのLDが正常なグループのLDまで交換することなくレーザ装置を復旧させることができるために、LDの交

換保守作業が大幅に容易になり、かつ交換するLDが必要最小限で良いために交換時のLD等の部品代も安価になる。

## 【 0 0 4 3 】

さらに、LDが故障した場合だけでなく、わずかに劣化した場合に於いてもそれぞれのLDあるいはLDのグループの電気回路を単独に駆動させ、その際検出される固体レーザ媒質から発生する蛍光の強度に応じて該各LD光源あるいはそのグループの駆動電流を変化させる制御回路を設けることで、常に固体レーザ媒質への励起状態を一定の状態、あるいは初期的に設定した安定な状態に復帰させることが出来る。また、LDのもともと有する個々の出力や発振波長のばらつきから生じる励起光の吸収効率の違いについても、そのLDの励起時の蛍光強度から駆動電流を制御することで、実用的に最小限のばらつきの範囲内に補正することが出来る。

## 【 0 0 4 4 】

また、個々のLDの駆動電流を独立に制御する必要はなく、20個ぐらいまでの単体LDをグループとして1つの電源で駆動し、その中の個々のLDについては個別に駆動できるような回路構成にはしない。これによって小型で信頼性の高い電源が構成でき、さらに電源の電子部品に不具合があった場合でもそれによるLDの破損を最小限に抑えることが出来る。

## 【 0 0 4 5 】

また、本発明は、上記構成の半導体レーザ励起個体レーザ装置のみならず、該レーザ装置による前記半導体レーザ光源の劣化状況の診断方法を提供するものである。

## 【 0 0 4 6 】

## 【発明の実施の形態】

本発明に係る半導体レーザ励起固体レーザ装置は、その好ましい一実施の形態において、レーザロッドと、励起光を発生する半導体レーザ素子と、レーザ共振器内のレーザ光軸の近傍かつ光軸を遮らない位置に設けた反射ミラー、光導波媒質等の光学的手段と、蛍光を検出する光検出器とを少なくとも有し、固体レーザ媒質から発生する蛍光の量を光検出手段で検出し、その蛍光量と予め定めた値又

は予め測定した値とを比較することによって、半導体レーザー光源の劣化状況を常時診断するものである。

【0047】

【実施例】

上記した本発明の実施の形態についてさらに詳細に説明すべく、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0048】

【実施例1】

まず、本発明の第1の実施例に係る半導体レーザー励起固体レーザー装置について、図1を参照して説明する。図1は、本発明の第1の実施例に係るLD励起固体レーザー装置の構造を模式的に示した図であり、レーザー媒質内のレーザー発振光光軸に沿ってLDの励起光を照射するいわゆる端面励起の構成において、レーザー発振光の光軸方向に沿った方向の断面の様子を示している。

【0049】

図1に示すように、複数個積層された半導体レーザー素子2（例えば、出力40W、発光幅1cmを5素子積層）より出射した励起光4（波長808nm）は、集光光学系3を通して円筒形のNd:YAGレーザーロッド1（例えば、Nd濃度1.0%at、ロッド直径3cm、長さ5cm）の端面1aを通してレーザーロッド1内に照射される。相対するレーザーロッド1の端面1bには、例えば、励起光808nmに対して反射率95%以上、レーザー発振光波長1064nmに対して0.2%以下の反射率を持つ誘電体多層膜が形成されており、レーザーロッド1に吸収されなかった励起光4は端面1bで再度レーザーロッド1の内部に反射されるようになっている。

【0050】

本実施例の固体レーザー発振器は、レーザーロッドの励起光が入射する端面1aと相対して設けた出力ミラー8（例えば、凹面曲率半径1m）の端面8aで共振するように反射膜コーティングされて配置されており、レーザー発振光の光軸5を形成している。具体的には、例えば、端面1aには励起光808nmに対して透過率95%以上、レーザー発振光波長1064nmに対して99%以上の反射率を持

つ誘電体多層膜が形成され、端面 8 a にはレーザ発振光波長 1 0 6 4 n m に対して 9 0 % の反射率を持つ誘電体多層膜が形成されている。

## 【 0 0 5 1 】

一方、S i 等を母材とする半導体光検出器 7 は、その共振器内の光軸 5 の近傍、かつ光軸を遮らない位置に設置されている。半導体レーザ素子 2 から照射された励起光 4 はレーザロッド 1 内で吸収され、吸収された領域から蛍光 6 が発生する。蛍光 6 は四方八方に拡散するが、そのうちの一部の蛍光が、図 1 に示すようにレーザロッド 1 の共振器側の端面 1 b を通して外部に拡散し、半導体光検出器 7 に到達する。

## 【 0 0 5 2 】

蛍光 6 は吸収された領域から方向性なく均一に四方に広がるため、レーザロッド 1 や半導体光検出器 7 の位置などが変化しなければ、半導体光検出器 7 で検出される蛍光量の変化は、レーザロッド 1 全体から発生される蛍光 6 の総量、すなわち励起光 4 の吸収量にほぼ比例する。励起光 4 の吸収量が減る原因としては半導体レーザ素子の劣化による励起光出力の低下が最も代表的なものであるが、他に半導体レーザ素子の冷却機構の不良による波長の変化、さらに度合いとしては少ないが集光光学系 3 の汚れや破損、レーザロッド 1 の破損などがある。

## 【 0 0 5 3 】

具体的な半導体レーザ素子 2 の劣化の検出手順としては、半導体レーザ素子 2 が劣化していない初期の状態に於いて、特定の駆動電流で駆動したときの蛍光量を半導体光検出器 7 で検出して記録しておき、一定時間経過後あるいは必要に応じて同じ駆動電流で半導体レーザ素子 2 を駆動し、そのとき検出される蛍光強度と比較することで半導体レーザ素子 2 の劣化状況を把握することが出来る。

## 【 0 0 5 4 】

このときの半導体レーザ素子 2 の駆動電流は、固体レーザが発振する駆動電流値より低く選ぶと都合がよい。もちろん固体レーザが発振している状態でも蛍光量の検出は可能であるが、固体レーザが発振した状態では単純に蛍光量だけで励起光の吸収の度合いを判断することは出来ない場合が出てくる。これは固体レーザが発振すると吸収された励起光エネルギーが発振光としても消費されるためで

、例えばミラーの汚れやアライメントのズレなど固体レーザー共振器に障害があった場合、吸収された励起エネルギーがレーザー光に変換される割合が減少し、代わりに蛍光として放出されるために検出される蛍光の量が上がるが、これは励起光の状態を反映していない。半導体レーザー素子2の駆動電流を固体レーザーが発振する駆動電流値より低く選べば、レーザーロッド1内に吸収されたエネルギーはほとんど全て蛍光6に変換されるために、蛍光強度と励起光4の吸収の度合いは常に比例すると判断することが出来る。

## 【 0 0 5 5 】

また、後述するように、半導体レーザー素子2あるいは半導体レーザー素子2のグループが複数の独立した電源あるいは独立して駆動できるように回路が構成されており、かつそれらを単独で駆動した場合に、それによって励起された固体レーザー装置が発振しないような構成の場合には、それらの半導体レーザー素子2あるいはそのグループを単独に駆動し、特定の電流値に設定して蛍光強度を測定することで、各半導体レーザー素子2あるいはそのグループの劣化状況を独立に把握することが出来る。

## 【 0 0 5 6 】

## 〔実施例2〕

次に、本発明の第2の実施例に係る半導体レーザー励起固体レーザー装置について、図2及び図13(d)を参照して説明する。図2は、第2の実施例に係るLD励起固体レーザー装置の構造を模式的に示した図であり、レーザー媒質のレーザー発振光光軸に沿ってLDの励起光を照射される構成において、レーザー発振光の光軸方向に沿った方向の断面の様子を示している。また、図13(d)は、蛍光を反射するミラーの他の構成を示す断面図である。

## 【 0 0 5 7 】

図2に示すように、Nd:YAGレーザーロッド10（例えば、Nd濃度0.7%at、ロッド直径5cm、長さ10cm）の長手方向に沿って複数の半導体レーザー素子20a~20h（それぞれ出力40W程度）が配設されており、それより出射された励起光40a~40h（波長809nm）は、光学系30a~30hを通して整形され該レーザーロッド10に照射される。

## 【 0 0 5 8 】

固体レーザ共振器は2枚の共振器ミラー80、81よりなり、それらのレーザロッド10に対向した端面80a、81aには固体レーザの発振光（波長1064nm）に対して特定の反射率を有する誘電体多層膜が形成されている。具体的には、例えば、端面80aには波長1064nmに対して99%以上の高反射膜、81aには同じく80%の部分反射膜が形成されている。これら2枚のミラー80、81および固体レーザロッド10によって図中50で示すレーザ発振光軸が形成される。またレーザ光軸50とレーザロッド10が接する端面10a、10bには固体レーザ発振光を反射散逸しないように、例えば、波長1064nmに対して反射率0.2%以下の反射防止膜が形成されている。

## 【 0 0 5 9 】

このレーザ共振器内の光軸50の近傍、かつ光軸を遮らない位置に、例えば、波長1064nmに対して97%の反射率を有する反射ミラー71が配設されており、レーザロッド10から発せられた蛍光60を、半導体光検出器70に向けて反射するように角度が調整されている。なお、蛍光60を反射するミラーとして、図13(d)に示すようなパラボラ型ミラー96を用いることもでき、この場合は、装置としては大がかりとなるが、広い範囲の蛍光60を効率よく半導体光検出部70に集光することができ、高感度に蛍光60を検出するシステムに適している。

## 【 0 0 6 0 】

## 〔実施例3〕

次に、本発明の第3の実施例に係る半導体レーザ励起固体レーザ装置について、図3を参照して説明する。図3は、第3の実施例に係るLD励起固体レーザ装置の構造を模式的に示した図であり、レーザ媒質のレーザ発振光光軸に沿ってLDの励起光を照射される構成において、レーザ発振光の光軸方向に沿った方向の断面の様子を示している。

## 【 0 0 6 1 】

図3に示すように、Nd:YAGレーザロッド10（例えば、Nd濃度0.7%at、ロッド直径5cm、長さ10cm）の側面、長手方向に沿ってレーザロ



ッド10を取り囲むように複数の半導体レーザ素子20a～20hが配設されており、それより出射された励起光40a～40h（波長809nm）は光学系30a～30hを通して整形され該レーザロッド10に照射される。

#### 【0062】

固体レーザ共振器は2枚の共振器ミラー80、81よりなり、それらのレーザロッド10に対向した端面80a、81aには固体レーザの発振光（波長1064nm）に対して特定の反射率を有する誘電体多層膜が形成されている。具体的には、例えば、端面80aには波長1064nmに対して99%以上の高反射膜、81aには同じく80%の部分反射膜が形成されている。これら2枚のミラー80、81および固体レーザロッド10によって図中50で示すレーザ発振光軸が形成される。またレーザ光軸とレーザロッド10が接する端面10a、10bには固体レーザ発振光を反射散逸しないように、例えば、波長1064nmに対して反射率0.2%以下の反射防止膜が形成されている。

#### 【0063】

このレーザ共振器内の光軸50の近傍、かつ光軸を遮らない位置に波長1064nmに対して透明な媒質72（例えば、石英ガラス）が配設されており、レーザロッド10から発せられた蛍光60を、半導体光検出器70に向けて反射するように角度が調整されている。具体的には、レーザロッド10より発せられた蛍光60は光導波媒質72のレーザロッド10に対向した面72aを透過し、直進してきた蛍光60に対し約45度の角度を有する面72bで反射され、光導波媒質72内を伝搬し、面72cより出射され、面72cに近接して配置された半導体光検出器70の受光面に達する。

#### 【0064】

このように透明な光導波媒質72を介して蛍光60を検出することにより、半導体光検出器70の受光面を直接レーザの光路に近づける必要がないため、半導体光検出器70の配置の自由度が高く、例えばレーザロッド10と共振器ミラー81の間隔が狭く半導体光検出器70を挿入することが難しい場合でも、小型の媒質72を挿入することで蛍光60を半導体光検出器70に効率的に導き検出することが出来る。

【 0 0 6 5 】

## 〔実施例 4〕

次に、本発明の第 4 の実施例に係る半導体レーザ励起固体レーザ装置について、図 4 を参照して説明する。図 4 は、第 4 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示した図であり、レーザ媒質のレーザ発振光光軸に沿って LD の励起光を照射される構成において、レーザ発振光の光軸方向に沿った方向の断面の様子を示している。

【 0 0 6 6 】

図 4 に示すように、菱形の Nd : YAG レーザスラブ 1 5 (例えば、Nd 濃度 0.7% at、スラブ幅 5 cm、長さ 10 cm) の長手方向に沿って複数の半導体レーザ素子 2 0 a ~ 2 0 d が配設されており、それより出射された励起光 4 0 a ~ 4 0 d (波長 809 nm) は光学系 3 0 a ~ 3 0 d を通して整形され該レーザ結晶に照射される。

【 0 0 6 7 】

固体レーザ共振器は 2 枚の共振器ミラー 8 0、8 1 よりなり、それらの固体レーザスラブ 1 5 に対向した端面 8 0 a、8 1 a には、例えば、固体レーザの発振光 (波長 1064 nm) に対して特定の反射率を有する誘電体多層膜が形成されている。具体的には、例えば、端面 8 0 a には波長 1064 nm に対して 99% 以上の高反射膜、8 1 a には同じく 80% の部分反射膜が形成されている。これら 2 枚のミラー 8 0、8 1 および固体レーザスラブ 1 5 によって図中で示すジグザグのレーザ発振光軸 5 1 が形成される。レーザ発振光は光軸に対してブリュースター角に傾けられた端面 1 5 a、1 5 b を透過し、スラブ内の半導体レーザ素子に励起される端面 1 5 d および対向する 1 5 c で全反射しながら進行する。

【 0 0 6 8 】

このレーザ共振器内の光軸 5 1 の近傍、かつ光軸を遮らない位置に波長 1064 nm に対して透明な媒質 7 2 が配設されており、固体レーザスラブ 1 5 から発せられた蛍光 6 0 を、半導体光検出器 7 0 に向けて反射するように角度が調整されている。

【 0 0 6 9 】

## 〔実施例 5〕

次に、本発明の第 5 の実施例に係る半導体レーザ励起固体レーザ装置について、図 5、図 1 3 (a) 乃至 (c) 及び図 1 4 を参照して説明する。図 5 は、第 5 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示した図であり、レーザ媒質のレーザ発振光光軸に沿って LD の励起光を照射される構成において、レーザ発振光の光軸方向に沿った方向の断面の様子を示している。また、図 1 3 (a) 乃至 (c) は、光導波媒質の詳細構造及びバリエーションを模式的に示した図であり、図 1 4 は、半導体レーザ励起固体レーザ装置の他の構造を模式的に示した図である。

## 【0070】

図 5 に示すように、Nd : YAG レーザロッド 1 0 (例えば、Nd 濃度 0. 7 % at、ロッド直径 5 cm、長さ 1 0 cm) の側面、長手方向に沿って、レーザロッド 1 0 を取り囲むように複数の半導体レーザ素子 2 0 a ~ 2 0 h が配設されており、それより出射された励起光 4 0 a ~ 4 0 h (波長 8 0 8 nm) は光学系 3 0 a ~ 3 0 h を通して整形され該レーザロッド 1 0 に照射される。

## 【0071】

固体レーザ共振器は 2 枚の共振器ミラー 8 0、8 1 よりなり、それらのレーザロッド 1 0 に対向した端面 8 0 a、8 1 a には固体レーザの発振光 (波長 1 0 6 4 nm) に対して特定の反射率を有する誘電体多層膜が形成されている。具体的には、例えば、端面 8 0 a には波長 1 0 6 4 nm に対して 9 9 % 以上の高反射膜、8 1 a には同じく 8 0 % の部分反射膜が形成されている。これら 2 枚のミラー 8 0、8 1 および固体レーザロッド 1 0 によって図中 5 0 で示すレーザ発振光軸が形成される。またレーザ光軸とレーザロッド 1 0 が接する端面 1 0 a、1 0 b には固体レーザ発振光を反射散逸しないように波長 1 0 6 4 nm に対して反射率 0. 2 % 以下の反射防止膜が形成されている。

## 【0072】

このレーザ共振器内の光軸 5 0 の近傍、かつ光軸を遮らない位置に波長 1 0 6 4 nm に対して透明な媒質 7 3 が配設されている。媒質 7 3 は光軸 5 0 の周囲を取り囲んで光軸を中心に回転対称形状を有しており、その側面外部に半導体光検

出器 7 0 が近接されている。媒質 7 3 の光軸に対向した面には図に示すように三角形形状の突起が形成されており、レーザロッド 1 0 より発せられた蛍光 6 0 がその面 7 3 a を通して媒質 7 3 内に導入され、内部で反射されながら外側へ伝搬され、最終的に半導体光検出器 7 0 の受光面に達する。

#### 【 0 0 7 3 】

より具体的には、図 1 3 (a) に示すように、光導波媒質 7 3 は、レーザ光 9 0 が通過する中心部分に開口を有する円盤状に形成され、開口部近傍には所定の傾斜角を有する蛍光入射端面 7 3 a が設けられ、外周部には半導体光検出器 7 0 以外の領域に金属又は誘電体膜等からなる全反射膜 9 3 が設けられており、端面 7 3 a から入射した蛍光 6 0 は媒質 7 3 の外周部に向かって放射状に伝搬し、外周部の全反射膜 9 3 によって反射されて最終的に半導体光検出器 7 0 に入射する。

#### 【 0 0 7 4 】

なお、光導波媒質の形状として円盤状に限らず、多角形状や楕円形状等であってもよい。例えば、図 1 3 (b) に示す台形の場合は、蛍光入射端面 9 4 a から入射した蛍光 6 0 が光導波媒質 9 3 の外周部に向かって伝搬し、半導体光検出器 7 0 が配置される辺以外の外周に設けた全反射膜 9 3 で反射して最終的に半導体光検出器 7 0 に入射する。また、図 1 3 (c) に示す楕円形状の場合は、光導波媒質 9 5 の開口部の中心及びレーザ光軸 5 0 を楕円の第 1 焦点に配置し、半導体光検出器 7 0 を第 2 焦点に配置することによって全反射膜 9 3 で反射される全ての蛍光 6 0 を半導体光検出器 7 0 で検出することができる。また上記構造において、光導波媒質の半導体光検出器 7 0 に対向する面に無反射膜 9 7 を設けることによって蛍光 6 0 の反射を抑え、蛍光 6 0 を効率よく半導体光検出器 7 0 に導くことも可能となる。

#### 【 0 0 7 5 】

このように透明な媒質 7 3 を光軸の周囲を取り囲むように配置することで媒質 7 3 内へ導入できる蛍光 6 0 の量が増加し、半導体光検出器 7 0 の受光面に達する蛍光 6 0 の量を増やすことが出来る。また、半導体光検出器 7 0 の受光面を直接レーザの光路に近づける必要がないため、半導体光検出器 7 0 の配置の自由度

が高く、例えばレーザロッド10と共振器ミラー81の間隔が狭く半導体光検出器70を挿入することが難しい場合でも、薄型の媒質73を挿入することで半導体光検出器70に蛍光60を導き、検出することが出来る。

## 【0076】

なお、図14に示すように、半導体光検出器70は円盤状の媒質73の周囲を取り囲むように複数並べて形成しても良く、この複数の半導体光検出器70からの出力を比較することによって、レーザ発光の軸対象性を判断することができ、また、劣化の詳細な部位の特定を行うこともできる。

## 【0077】

## 〔実施例6〕

次に、本発明の第6の実施例に係る半導体レーザ励起固体レーザ装置について、図6を参照して説明する。図6は、第6の実施例に係るLD励起固体レーザ装置の構造を模式的に示した図であり、レーザ媒質のレーザ発振光光軸に沿ってLDの励起光を照射される構成において、レーザ発振光の光軸方向に沿った方向の断面の様子を示している。

## 【0078】

図6に示すように、Nd:YAGレーザロッド10（例えば、Nd濃度0.7%at、ロッド直径5cm、長さ10cm）の側面、長手方向に沿ってレーザロッド10を取り囲むように複数の半導体レーザ素子20a~20hが配設されており、それより出射された励起光40a~40h（波長808nm）は光学系30a~30hを通して整形され該レーザロッドに照射される。

## 【0079】

固体レーザ共振器は2枚の共振器ミラー80、81よりなり、それらのレーザロッドに対向した端面80a、81aには固体レーザの発振光（波長1064nm）に対して特定の反射率を有する誘電体多層膜が形成されている。具体的には、例えば、端面80aには波長1064nmに対して99%以上の高反射膜、81aには同じく80%の部分反射膜が形成されている。これら2枚のミラー80、81および固体レーザロッド10によって図中50で示すレーザ発振光軸が形成される。またレーザ光軸50とレーザロッド10が接する端面10a、10b

には固体レーザ発振光を反射散逸しないように、例えば、波長1064nmに対して反射率0.2%以下の反射防止膜が形成されている。

#### 【0080】

このレーザ共振器内の光軸50の近傍、かつ光軸を遮らない位置に波長1064nmに対して透明な媒質74が配設されている。媒質74は光軸50の周囲を取り囲むように光軸を中心に回転対称形状を有しており、その外部に半導体光検出器70が近接されている。媒質74の光軸に対向した面には図に示すように三角形状の突起が形成されており、レーザロッド10より発せられた蛍光60がその面74aを通して回折あるいは反射されて媒質74内部へ伝搬され、最終的に半導体光検出器70の受光面に達する。

#### 【0081】

このように透明な媒質74を光軸の周囲を取り囲むように配置することで媒質内へ導入できる蛍光60の量が増加し、半導体光検出器70の受光面に達する蛍光60の量を増やすことが出来る。また、半導体光検出器70の受光面を直接レーザの光路に近づける必要がないため、半導体光検出器70の配置の自由度が高く、例えばレーザロッド10と共振器ミラー81の間隔が狭く半導体光検出器70を挿入することが難しい場合でも、薄型の媒質74を挿入することで蛍光60を検出することが出来る。

#### 【0082】

さらに媒質74の光軸が通過する穴の直径は3.5mm程度で、レーザロッド10の外径5mmよりも小さく設定されている。このためレーザ発振時にはビーム広がり角の大きいあるいはビーム径の広いビーム品質の悪い成分は媒質74を透過する際に大きな光学的な損失を受け、発振が阻害されるために最終的にミラー81より出射されるレーザ光90の品質を高めることが出来る。蛍光強度の検出と同時にレーザビーム品質の改善も同時に実現することができる。

#### 【0083】

#### 〔実施例7〕

次に、本発明の第7の実施例に係る半導体レーザ励起固体レーザ装置について、図7を参照して説明する。図7は、第7の実施例に係るLD励起固体レーザ装

置の構造を模式的に示した図であり、レーザ媒質のレーザ発振光光軸に沿ってL Dの励起光を照射される構成において、レーザ発振光の光軸方向に沿った方向の断面の様子を示している。

## 【 0 0 8 4 】

図7に示すように、Nd : YAGレーザロッド10（例えば、Nd濃度0.7 % a t、ロッド直径5 c m、長さ10 c m）の側面、長手方向に沿ってレーザロッド10を取り囲むように複数の半導体レーザ素子20 a ~ 20 hが配設されており、それより出射された励起光40 a ~ 40 h（波長808 n m）は光学系30 a ~ 30 hを通して整形され該レーザロッド10に照射される。

## 【 0 0 8 5 】

固体レーザ共振器は2枚の共振器ミラー80、81よりなり、それらのレーザロッドに対向した端面80 a、81 aには、固体レーザの発振光（波長1064 n m）に対して特定の反射率を有する誘電体多層膜が形成されている。具体的には、例えば、端面80 aには波長1064 n mに対して99 %以上の高反射膜、81 aには同じく80 %の部分反射膜が形成されている。これら2枚のミラー80、81および固体レーザロッド10によって図中50で示すレーザ発振光軸が形成される。また、レーザ光軸50とレーザロッド10が接する端面10 a、10 bには固体レーザ発振光を反射散逸しないように、例えば、波長1064 n mに対して反射率0.2 %以下の反射防止膜が形成されている。

## 【 0 0 8 6 】

このレーザ共振器内の光軸50の近傍、かつ光軸を遮らない位置に波長1064 n mに対して透明な媒質72、74がそれぞれミラー80、81に近接して配設されている。媒質72は、レーザロッド10の端面10 aより発せられる蛍光60 aを媒質内を伝搬させ、近接させた光検出器70 aに導くように配置されており、一方、媒質74は光軸50の周囲を取り囲むように光軸を中心に回転対称形状を有しており、その外部に半導体光検出器70 bが近接されている。媒質74の光軸に対向した面には図に示すように三角形状の突起が形成されており、レーザロッド10より発せられた蛍光60 bがその面で回折あるいは反射されて媒質74内部へ伝搬され、最終的に半導体光検出器70 bの受光面に達する。

## 【 0 0 8 7 】

レーザロッド10が長尺で半導体レーザ素子の配列の数が多くなった場合、蛍光は指向性が少ないために半導体光検出器からより遠いLDあるいはレーザロッド10の励起領域の蛍光が散逸してしまうが、このようにレーザロッド10を挟んで両端面側に半導体光検出器を配置することで、一方の検出器から遠い半導体レーザ素子あるいは励起領域の情報もより正確に知ることが出来る。

## 【 0 0 8 8 】

## 〔実施例8〕

次に、本発明の第8の実施例に係る半導体レーザ励起固体レーザ装置について、図8乃至図10を参照して説明する。図8は、第8の実施例に係るLD励起固体レーザ装置の構造を模式的に示した図であり、レーザ媒質のレーザ発振光光軸に沿ってLDの励起光を照射される構成において、レーザ発振光の光軸方向に沿った方向の断面の様子を示している。また、図9は、励起光遮光フィルターの透過特性を示す図であり、図10は、発振に寄与しない波長成分のみを取り出す狭帯域透過フィルターの透過特性を示す図である。

## 【 0 0 8 9 】

図8に示すように、複数個積層された半導体レーザ素子2（例えば、出力40W、発光幅1cmを5素子積層）より出射した励起光4（波長808nm）は集光光学系3を通して円筒形のNd:YAGレーザロッド1（例えば、Nd濃度0.8%at、ロッド直径3cm、長さ5cm）の端面1aを通してレーザロッド1内に照射される。

## 【 0 0 9 0 】

相対するレーザロッド1の端面1bには、例えば、励起光808nmに対して反射率95%以上、レーザ発振光波長1064nmに対して0.2%以下の反射率を持つ誘電体多層膜が形成されており、レーザロッド1に吸収されなかった励起光は端面1bで再度反射されレーザロッド1内に戻されるようになっている。

## 【 0 0 9 1 】

本実施例の固体レーザ発振器はレーザロッド1の励起光4が入射する端面1aと相対して設けた出力ミラー8の端面8aで共振するように反射膜コーティング



されて配置されており、レーザ発振光の光軸 5 を形成している。具体的には、例えば、端面 1 a には励起光 8 0 8 n m に対して透過率 9 5 % 以上、レーザ発振光波長 1 0 6 4 n m に対して 9 9 % 以上の反射率を持つ誘電体多層膜が形成されている。また同じく端面 8 a にはレーザ発振光波長 1 0 6 4 n m に対して 9 0 % の反射率を持つ誘電体多層膜が形成されている。

## 【 0 0 9 2 】

このレーザ共振器内の光軸 5 の近傍、かつ光軸を遮らない位置に波長 1 0 6 4 n m に対して透明な媒質 7 2 が配設されている。媒質 7 2 は光軸 5 の周囲を取り囲むように光軸を中心に回転対称形状を有しており、その外部に半導体光検出器 7 が近接されている。媒質 7 2 の光軸に対向した面には図に示すように三角形状の突起が形成されており、レーザロッド 1 より発せられた蛍光 6 がその面で回折あるいは反射されて媒質 7 2 内部へ伝搬され、最終的に半導体光検出器 7 の受光面に達する。

## 【 0 0 9 3 】

このように透明な媒質 7 3 を光軸 5 の周囲を取り囲むように配置することで媒質 7 3 内へ導入できる蛍光 6 の量が増加し、半導体光検出器 7 の受光面に達する蛍光 6 の量を増やすことが出来る。また、半導体光検出器 7 の受光面を直接レーザの光路に近づける必要がないため、半導体光検出器 7 の配置の自由度が高く、例えばレーザロッド 1 と共振器ミラー 8 の間隔が狭く半導体光検出器 7 を挿入することが難しい場合でも、薄型の媒質 7 2 を挿入することで蛍光 6 を検出することが出来る。

## 【 0 0 9 4 】

さらに、媒質 7 3 の側面と半導体光検出器 7 との間には、励起光 4 の波長を吸収し、レーザロッド 1 より発せられる蛍光 6 のみを透過する励起光遮光フィルター（例えば、HOYA RM100）7 5 と、蛍光 6 のうちレーザ発振に寄与しない波長成分のみを透過する狭帯域透過フィルター（干渉フィルター）7 6 が挿入されており、半導体光検出器 7 には蛍光 6 のうちレーザ発振に寄与しない波長の光のみが到達し検出される。このように 2 枚のフィルターを備えることにより、励起光そのものではなく励起光を吸収することによって発生する蛍光の量を正

確に信頼性よく計測することが出来る。

【 0 0 9 5 】

図 9 は、励起光をカットし、蛍光のみを透過する励起光遮光フィルター 7 5 の透過特性の一例を示した図である。図からわかるように、励起光 8 0 8 n m 近傍では透過率が 5 % 未満と低く、逆に蛍光の波長 1 0 6 4 n m 近傍では高い透過率を有する。このような特性のフィルターとしては、例えば H O Y A 製の R 8 5 あるいは R M 1 0 0 があげられる。また吸収型のフィルターではなく、同様の透過性を有する誘電体多層膜でもよい。

【 0 0 9 6 】

また、図 1 0 は、レーザロッド 1 より発せられる蛍光成分のうち、発振に寄与しない波長成分のみを取り出す狭帯域透過フィルター 7 6 の透過特性の一例を示した図である。図からわかるように、蛍光成分のうち 9 4 6 n m 成分のみを透過し、主に発振に寄与する 1 0 6 4 n m 近傍の光を透過しない。このような特性は干渉フィルターを用いることで容易に実現することができる。もちろん干渉型フィルターの代わりに、誘電体多層膜によるバンドパスフィルターでも構わない。更に透過波長は、N d : Y A G の他の発光スペクトルである 1 3 1 0 n m 近傍にしても構わない。

【 0 0 9 7 】

また、本実施例では光導波媒質 7 3 と半導体光検出器 7 との間に励起光遮光フィルター 7 5 及び狭帯域透過フィルター 7 6 を設ける構成について記載したが、光導波媒質 7 3 自体を特定の波長の光を透過又は吸収する材料で形成し、フィルターの機能を兼ね備えることも可能である。また、狭帯域透過フィルター 7 6 の帯域を蛍光の波長近傍で細かく分割し、レーザロッド 1 の劣化に応じて変化する蛍光波長のずれを検出することも可能である。

【 0 0 9 8 】

〔実施例 9〕

次に、本発明の第 9 の実施例に係る半導体レーザ励起固体レーザ装置について、図 1 1 を参照して説明する。図 1 1 は、第 9 の実施例に係る L D 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示した図であり、複数個直列に配置されたレーザ媒質の

レーザ発振光光軸に沿ってLDの励起光を照射される構成において、レーザ発振光の光軸方向に沿った方向の断面を示している。

## 【0099】

図11に示すように、長手方向に配列された3本のNd:YAGレーザロッド10、11、12（例えば、Nd濃度0.7%at、ロッド直径5cm、各長さ10cm）の側面、長手方向に沿って同じく複数の半導体レーザ素子20a~20h、21a~21h、22a~22hが配設されており、それより出射された励起光40a~40h、41a~41h、42a~42h（波長808nm）はそれぞれ光学系30a~30h、31a~31h、32a~32hを通して整形され該レーザロッド10、11、12に照射される。

## 【0100】

固体レーザ共振器は2枚の共振器ミラー80、81よりなり、それらのレーザロッドに対向した端面80a、81aには固体レーザの発振光（波長1064nm）に対して特定の反射率を有する誘電体多層膜が形成されている。具体的には、例えば、端面80aには波長1064nmに対して99%以上の高反射膜、81aには同じく50%の部分反射膜が形成されている。これら2枚のミラー80、81および固体レーザロッド10~12によって図中51で示すレーザ発振光軸が形成される。またレーザ光軸51と各レーザロッド10~12が接する端面10a~12a、10b~12bには、例えば、固体レーザ発振光を反射散逸しないように波長1064nmに対して反射率0.2%以下の反射防止膜が形成されている。

## 【0101】

このレーザ共振器内の光軸51の近傍、かつ光軸を遮らない位置に波長1064nmに対して透明な媒質72a~72dが配設されている。各媒質は光軸51の周囲を取り囲むように光軸を中心に回転対称形状を有しており、レーザロッド10、11、12の各端面より発せられる蛍光60a~62a、60b~62bを媒質内を伝搬させ近接させた光検出器70a~70dに導くように配置されている。各媒質の光軸に対向した面には図に示すように三角形状の突起が形成されており、各レーザロッドより発せられた蛍光がその面で回折あるいは反射されて

媒質内部へ伝搬され、最終的に半導体光検出器の受光面に達する。

#### 【 0 1 0 2 】

具体的には媒質 7 2 a はレーザロッド 1 0 の端面 1 0 a を通して発生される蛍光 6 0 a を検出し、媒質 7 2 b はレーザロッド 1 0 の端面 1 0 b あるいはレーザロッド 1 1 の端面 1 1 a を通して発せられる蛍光 6 0 b あるいは 6 1 a を検出し、媒質 7 2 c はレーザロッド 1 1 の端面 1 1 b あるいはレーザロッド 1 2 の端面 1 2 a を通して発せられる蛍光 6 1 b あるいは 6 2 a を検出し、媒質 7 2 d はレーザロッド 1 2 の端面 1 2 b を通して発せられる蛍光 6 2 b を検出するように配設されている。

#### 【 0 1 0 3 】

レーザロッドが長尺で半導体レーザの配列の数が多くなった場合、蛍光は指向性が少ないために検出器からより遠い L D あるいはレーザロッドの励起領域の蛍光が散逸してしまうが、このようにレーザロッド 1 0 ~ 1 2 を挟んで両端面側に半導体光検出器を配置することで、一方の検出器から遠い L D あるいは励起領域の情報もより正確に知ることが出来る。

#### 【 0 1 0 4 】

さらに各媒質 7 2 a ~ 7 2 d と半導体光検出器 7 0 a ~ 7 0 d との間には、半導体レーザの励起光の波長を吸収、あるいは反射し、レーザロッドより発せられる蛍光のみを透過する励起光遮光フィルター 7 5 a ~ 7 5 d と、蛍光のうちレーザ発振に寄与しない波長成分のみを透過する狭帯域透過フィルター 7 6 a ~ 7 6 d が挿入されており、半導体光検出器には蛍光のうちレーザ発振に寄与しない波長の光のみが到達し検出される。このように 2 枚のフィルターを備えることにより、励起光そのものではなく励起光を吸収することによって発生する蛍光の量を正確に信頼性よく計測することが出来る。

#### 【 0 1 0 5 】

#### [ 実施例 1 0 ]

次に、本発明の第 1 0 の実施例に係る半導体レーザ励起固体レーザ装置について、図 1 2 を参照して説明する。図 1 2 は、第 1 0 の実施例に係る L D 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示した図であり、レーザ媒質のレーザ発振光光軸に

沿ってLDの励起光を照射される構成において、レーザー発振光の光軸方向に沿った方向の断面の様子を示している。

#### 【0106】

図12に示すように、長手方向に配列された2のNd:YAGレーザーロッド11、12（例えば、Nd濃度1.0%at、ロッド直径5cm、長さ10cm）の長手方向に沿って同じく複数の半導体レーザー素子25a~25h、26a~25hが配設されており、それより出射された励起光40a~40h、41a~41h（波長809nm）は光学系30a~30h、31a~31hを通して整形され該レーザーロッドに照射される。

#### 【0107】

固体レーザー共振器は2枚の共振器ミラー80、81よりなり、それらのレーザーロッドに対向した端面80a、81aには固体レーザーの発振光（波長1064nm）に対して特定の反射率を有する誘電体多層膜が形成されている。具体的には、例えば、端面80aには波長1064nmに対して99%以上の高反射膜、81aには同じく75%の部分反射膜が形成されている。これら2枚のミラー80、81および固体レーザーロッド11、12によって図中51で示すレーザー発振光軸が形成される。またレーザー光軸51と各レーザーロッド11、12が接する端面11a、11b、12a、12bには固体レーザー発振光を反射散逸しないように波長1064nmに対して反射率0.2%以下の反射防止膜が形成されている。

#### 【0108】

このレーザー共振器内の光軸51の近傍、かつ光軸を遮らない位置に波長1064nmに対して透明な媒質72a~72cが配設されている。各媒質72a~72cは光軸51の周囲を取り囲むように光軸を中心に回転対称形状を有しており、その外部に半導体光検出器70a~70cが近接されている。媒質72a~72cの光軸に対向した面には図に示すように三角形状の突起が形成されており、レーザーロッド11、12より発せられた蛍光60a、60b、61a、61bがその面で回折あるいは反射されて媒質内部へ伝搬され、最終的に半導体光検出器の受光面に達する。

#### 【0109】

ロッドが長尺で半導体レーザの配列の数が多くなった場合、蛍光は指向性が少ないために検出器からより遠いLDあるいはロッドの励起領域の蛍光が散逸してしまうが、このようにレーザロッド11、12を挟んで両端面側に半導体光検出器を配置することで、一方の検出器から遠い半導体レーザあるいは励起領域の情報もより正確に知ることが出来る。

#### 【0110】

さらに媒質72a~72cと光検出器70a~70cとの間には、励起光40a~40h、41a~41hの波長を吸収、あるいは反射し、レーザロッドより発せられる蛍光のみを透過する励起光遮光フィルター75a~75cと、蛍光のうちレーザ発振に寄与しない波長成分のみを透過する狭帯域透過フィルター76a~76cが挿入されており、半導体光検出器70a~70cには蛍光のうちレーザ発振に寄与しない波長の光のみが到達検出される。このように2枚のフィルターを備えることにより、LDからの励起光の吸収状況を正確に計測することが出来る。

#### 【0111】

そして、図に示すように半導体レーザ素子を2個ずつ直列に接続しそれぞれ独立の電源25a~26dで駆動する。それらの電源には電流値を外部から制御するための制御信号がインターフェース91a~91dから供給される。さらにインターフェースは上位の制御ホスト92によって制御・監視・記録される。

#### 【0112】

次に、基本的な制御の流れの一例を説明する。制御ホスト92からの指令によってインターフェース91aを介して電源25aから電流25アンペアが半導体レーザ素子20a、20bに供給される。このとき電源25a以外の他の電源は休止している。半導体レーザ素子20a、及び20bからの励起光40a、40bは光学系30a、30bで整形された後、レーザロッド11に照射される。半導体レーザ光はレーザロッド11aに吸収され蛍光60aを発する。この蛍光はその発生した位置から最も近い蛍光検出用の透明媒質72aに伝搬し、媒質72a内を伝播した後、励起光を除去するための励起光遮光フィルター75aと蛍光成分のうち、実際にレーザ発振に寄与しない成分のみを透過するフィルター76

a を透過した後、半導体光検出器 7 0 a に到達し検出される。

【 0 1 1 3 】

このとき、半導体レーザ素子 2 0 a、2 0 b のみ駆動されているため、半導体光検出器 7 0 a により検出される蛍光量は半導体レーザ素子 2 0 a、2 0 b から励起によって発生したものである。従って検出される蛍光量は、半導体レーザ素子 2 0 a、2 0 b の励起光の吸収量に比例し、言い換えればこれら半導体レーザ素子の出力光の総量及びその波長を反映した値である。

【 0 1 1 4 】

次に、同様に制御ホスト 9 2 からの指令によりインターフェース 9 1 b を通して電源 2 5 b より半導体レーザ素子 2 0 c、2 0 d に通電を行う。このとき発生する蛍光 6 0 b は最も距離の近い 7 2 b を通して半導体光検出器 7 0 b で検出される。このときの駆動電流は固体レーザ装置が発振しない値に選択する必要がある。

【 0 1 1 5 】

このようにすべての駆動電源 2 5 a ~ 2 6 d を順に単独に駆動し、その時発生する蛍光強度を最寄りの半導体光検出器で検出し、制御ホスト 9 2 に記録しておく。基準となる状態、たとえば、これらの半導体レーザ素子が新品でまったく劣化していない状態で特定の電流値、たとえば 2 5 アンペアを通電し、このときの蛍光量を制御ホスト 9 2 のメモリーに記憶しておく。次に一定時間経過後、あるいは固体レーザ出力に異常が発生した時点で、再度すべての駆動電源を同様に単独で駆動し、そのときに発生する蛍光強度を全く同様の経路で半導体光検出器により検出する。そして、それらの値を元の値と比較することで各半導体レーザ素子の劣化の具合を個別に検出することが可能である。たとえば蛍光の量が使用開始時の 7 0 % 以下まで低下した場合、その電源で駆動している半導体レーザ素子が劣化したと判断し交換するように決めておけばよい。

【 0 1 1 6 】

なお、以上の実施例において、Nd : YAG をレーザ媒質の例としてあげたが、他のいかなるレーザ発振元素、例えば、Yb、Ho、Tm、Cr、Ti を含むものでもよいし、母材としても他に YLF や YVO<sub>4</sub>、GGG、GSGG のよう

な結晶でもよく、ガラス、セラミックのような非晶質のものでもよい。

【0117】

また、光導波媒質の材料としてはガラスを例としてあげたが、励起光に対して高い透過率を有するものであればよい。特に、鉛を添加した高屈折率のガラスを用いれば、導波板内を伝搬する励起光が全反射により効率的に伝搬できる。また、屈折率の高い透明な材料として、サファイアやレーザ元素を含まないYAGなどの結晶材料でもよい。また、光導波媒質の形状として穴のあいた円盤状形状、台形、楕円形やパラボラ形状を挙げたが、他のいかなる形状でもよく、レーザ媒質から発生した蛍光を光検出器まで伝搬させるものであれば、すべて本特許の請求の範囲に含められる。また形状や媒質としてはなるべく伝搬の途中で弱めないようなものであればよく、さらに集めるような形状であれば理想的である。プラスチックのような樹脂でも良いので、光ファイバーでも良い。レーザロッドの径は実施例では直径5mmを用いたが、他のサイズでもよく、必要とされるレーザ装置の構成上最適な径と長さが選ばれる。また励起に用いるLDの発振波長も808nm以外でもよく、レーザ結晶や励起分布の構成を考慮して最適な波長が選ばれる。

【0118】

半導体レーザ素子としては、例えば米国SDL社のSDL3470Sを用いることができ、他に米国オプトパワー社のOPC-A020-MMM-CLでもよいし、フランスTomson-CSF社のTH-C1720-Pでもよい。また、半導体レーザ素子も予めアレイ状に4個並べたフランスTomson-CSF社のTH-C1720-R(4)でもよい。また半導体レーザ素子の出力は1cmあたり20W以下であればよいから30W用でも40W用でもよく、この場合、定格出力の半分以下の出力でを使用することから半導体レーザ素子の寿命を3倍から9倍程度まで長くすることが出来、固体レーザ装置の信頼性を向上できる。

【0119】

また、以上の実施例では励起光の波長の光を減衰する励起光遮光フィルターと発振に寄与しない固体レーザ媒質の蛍光の輝線波長のみを選択的に透過する狭帯域透過フィルターをペアで使用したが、励起構成の関係で励起光が半導体光検出



器に到達しない場合には、前者のフィルターを省略しても良いし、また固体レーザーロッドの蛍光の輝線波長のみを選択的に透過するフィルターの非透過波長帯が励起光の波長まで達している場合には、同じく後者のフィルターだけで励起光が透過しないために前者のフィルターを省略しても良い。半導体光検出器としてSiの例を挙げたが他にGeでもGaAsでもInGaAsでも他の半導体材料でも良い。蛍光の波長に合わせ最も感度良く検出できる材料が選択される。

## 【0120】

また、励起構成の関係で励起光が半導体光検出器に到達しない場合で、かつ固体レーザーが発振しても発振光によって光検出器が性能を劣化させないのであれば、いずれのフィルターも省略してもよい。さらにその代わりに、発振光で光検出器が劣化しないように、すべての光を減衰させるような、たとえばNDフィルターを挿入しても良いし、拡散板を挿入しても良い。

## 【0121】

## 【発明の効果】

以上説明したように、半導体レーザーからの励起光をレーザーロッドで吸収し、増幅する半導体レーザー励起固体レーザー装置において、共振器内の光軸近傍かつ光軸を遮らない位置に、反射ミラーや光導波媒質等を設けてレーザーロッドから発せられる蛍光を半導体光検出器に導くことによって、励起状態を正確に把握することができ、励起用半導体レーザーの状態、寿命をレーザー装置を稼働した状態で計測・管理することができる。

## 【0122】

また、本発明では、半導体レーザーからの励起光を直接測定するのではなく、レーザーロッドからの蛍光を測定するため、半導体レーザーとレーザーロッドとの位置関係や励起方法に依存せず、励起光とレーザー光の光軸が一致する構成、光軸が直交する構成のいずれに対しても適用することができる。

## 【0123】

また、本発明では、蛍光を測定する半導体光検出器は共振器内やレーザー光軸近傍にしなくてもよく、反射ミラーや光導波媒質により導けばよいので、レーザーロッドと共振器ミラーとの間隔が狭い場合であっても確実に蛍光を検出することが

できる。

【 0 1 2 4 】

また、光導波媒質を光軸の周囲を取りまくようにドーナツ状に形成し、かつ光導波媒質内側の開口径をレーザロッドの径よりも小さくすることによって、広がり角の大きいビームの発振を抑制することができ、蛍光強度の検出と同時にレーザビーム品質の改善も実現することができる。

【 0 1 2 5 】

また、本発明では、半導体光検出器の前段に励起光遮光フィルタや狭帯域透過フィルタを設置することによって、励起光の混入を防ぎ、レーザ発振に寄与する蛍光のみを検出することができるため、励起光の吸収状況を正確に計測することができる。

【 0 1 2 6 】

更に、本発明では、複数の半導体レーザ素子を複数のグループに分割し、各々のグループに対して半導体レーザ素子を駆動する電源を個別に設け、その電源をホストの指令により制御することによって、半導体レーザ素子の劣化状態を個別に診断することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示す図である。

【図 2】

本発明の第 2 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示す図である。

【図 3】

本発明の第 3 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示す図である。

【図 4】

本発明の第 4 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示す図である。

【図 5】

本発明の第 5 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示す図である。

【図 6】

本発明の第 6 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示す図である。

【図 7】

本発明の第 7 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示す図である。

【図 8】

本発明の第 8 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示す図である。

【図 9】

励起光の波長を遮断するフィルターの特性を表わしたものである。

【図 1 0】

レーザ発振に利用されない輝線スペクトルの波長のみを透過するフィルターの特性を表わしたものである。

【図 1 1】

本発明の第 9 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示す図である。

【図 1 2】

本発明の第 1 0 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の構造を模式的に示す図である。

【図 1 3】

本発明の LD 励起固体レーザ装置の他の構造を示す図であり、(a)乃至(c)は光導波媒質の他の構造、(d)は反射ミラーの他の構造を示す図である。

【図 1 4】

本発明の第 5 の実施例に係る LD 励起固体レーザ装置の他の構造を模式的に示す図である。

【図 1 5】

従来の LD 励起固体レーザ装置の構造を示す図である。

【図 1 6】

従来の LD 励起固体レーザ装置の構造を示す図である。

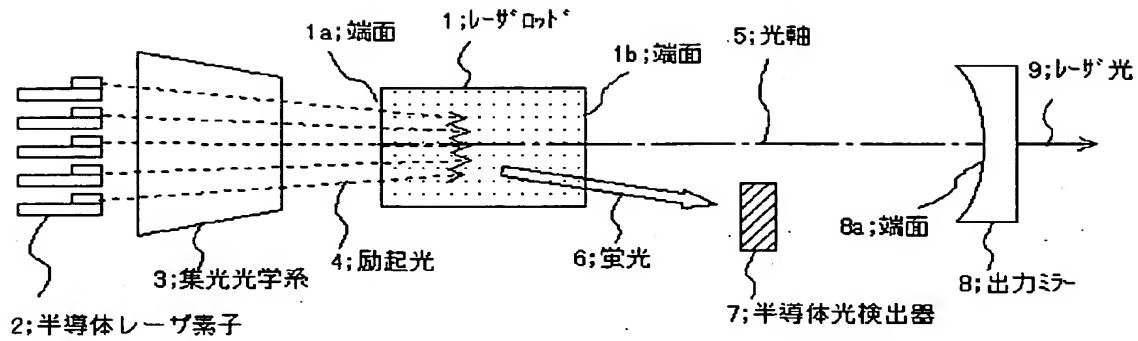
【符号の説明】

- 1 レーザロッド
- 1 a、1 b レーザロッド端面
- 2 半導体レーザ素子
- 3 集光光学系
- 4 励起光
- 5 光軸
- 6 蛍光
- 7 光検出器
- 8 ミラー
- 8 a ミラー端面
- 9 レーザ光
- 1 0 レーザロッド
- 1 0 a、1 0 b レーザロッド端面
- 1 5 レーザロッドスラブ
- 1 5 a、1 5 b ブリュースターカット面
- 1 5 c、1 5 d 全反射端面
- 2 0 a～2 0 h、2 1 a～2 1 h、2 2 a～2 2 h 半導体レーザ素子
- 2 5 a～2 5 d、2 6 a～2 6 d 直流電源
- 3 0 a～3 0 h、3 1 a～3 1 h、3 2 a～3 2 h 光学系
- 4 0 a～4 0 h、4 1 a～4 1 h、4 2 a～4 2 h 励起光
- 5 0 レーザ光軸
- 6 0、6 0 a、6 0 b、6 1 a、6 1 b、6 2 a、6 2 b 蛍光
- 7 0、7 0 a～7 0 d 半導体光検出器
- 7 1 反射ミラー

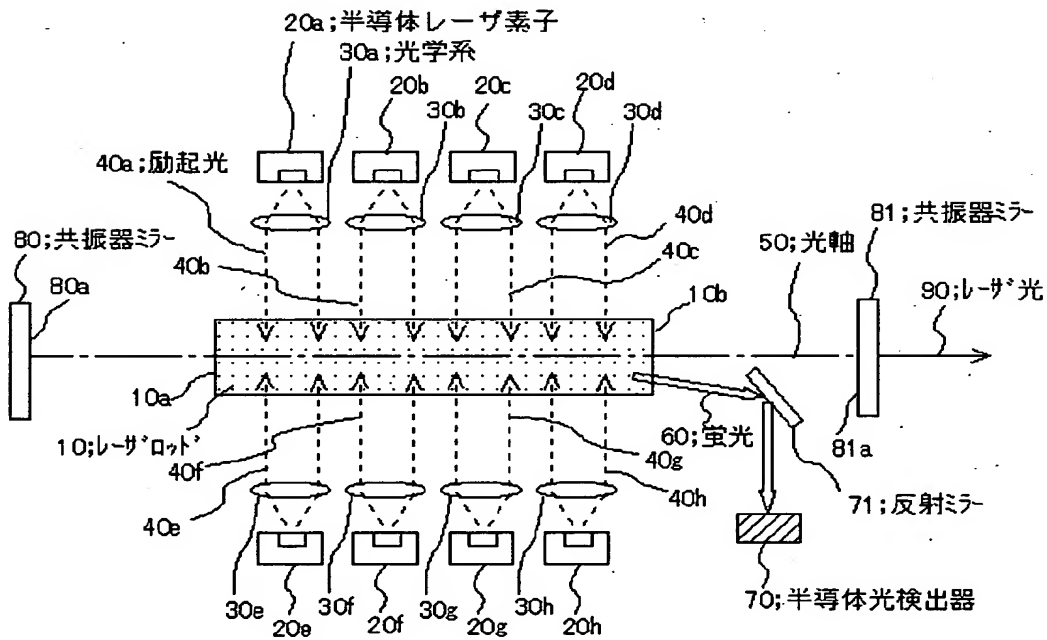
72、72a～72d、73、74、94、95 光導波媒質  
72a、72c 低反射コーティング端面  
72b 全反射端面  
73a、74a、94a、95a 蛍光入射端面  
75、75a～75d 励起光遮光フィルター  
76、76a～76d 狭帯域透過フィルター  
80 共振器ミラー  
80a ミラー端面  
81 共振器ミラー  
81a ミラー端面  
90 レーザ光  
91a～91d インターフェース  
92 制御ホスト装置  
93 全反射膜  
96 パラボラ型ミラー  
97 無反射膜  
101 レーザロッド  
102～107 励起用半導体レーザ素子  
117 電源  
120 共振器ミラー（全反射）  
121 共振器ミラー（部分反射）  
122～127 可変抵抗  
128 折り返しミラー  
129 集光レンズ  
130 CCDカメラ  
131 制御回路

【書類名】 図面

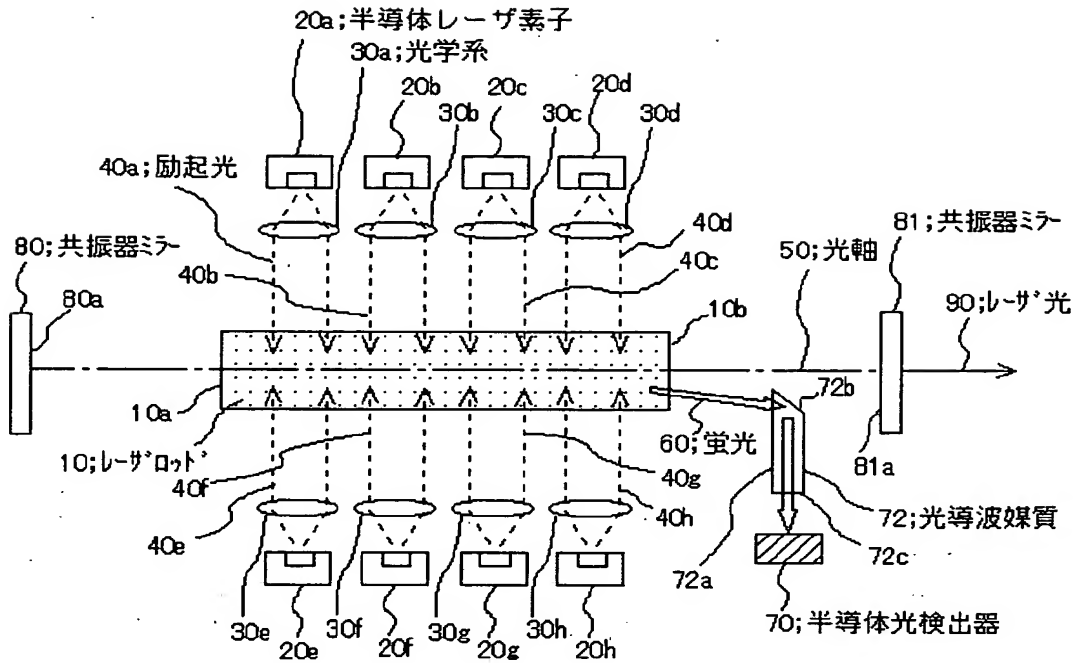
【図 1】



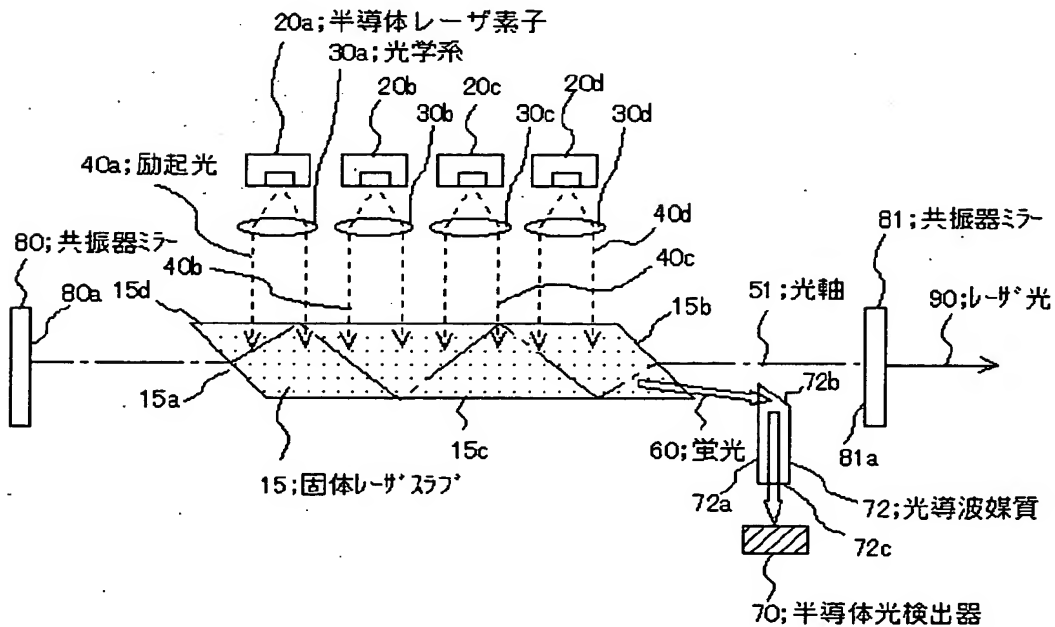
【図 2】



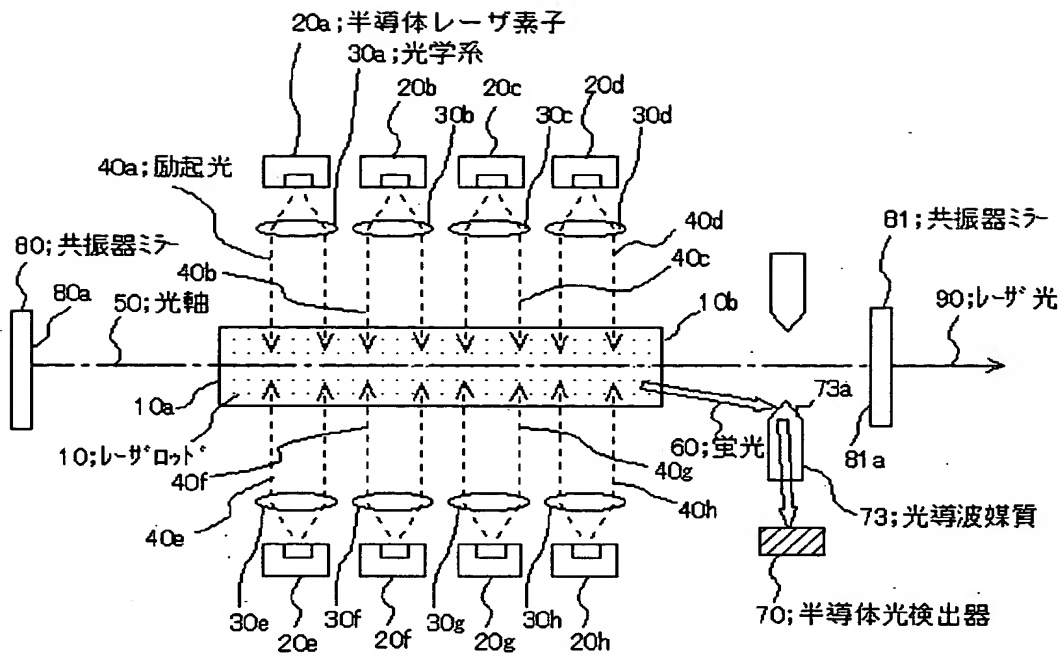
【図 3】



【図 4】

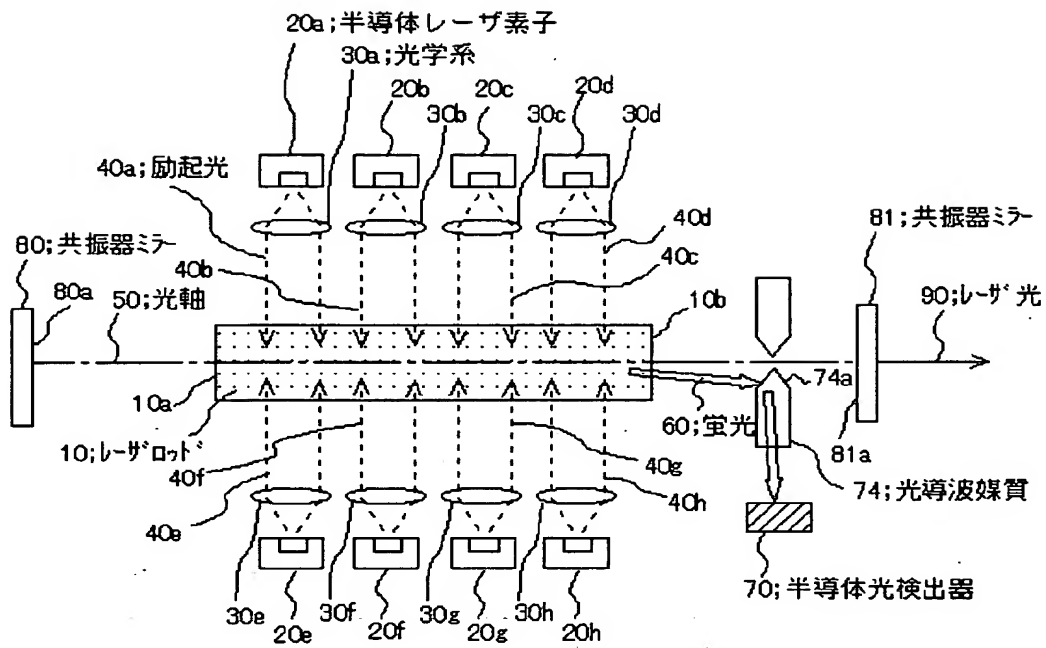


【図5】

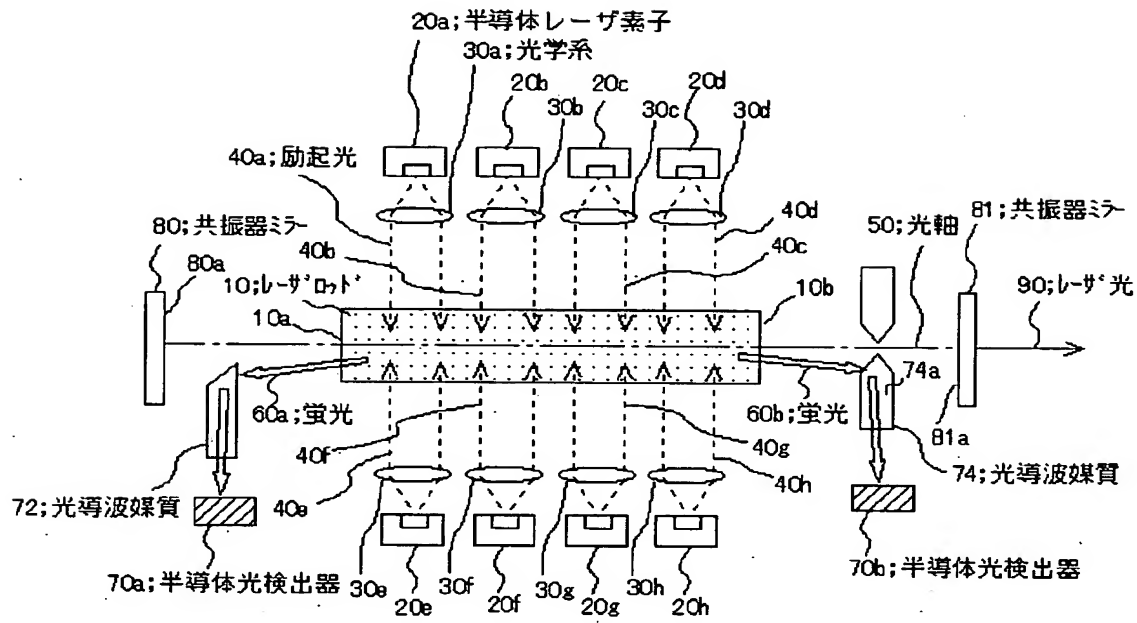




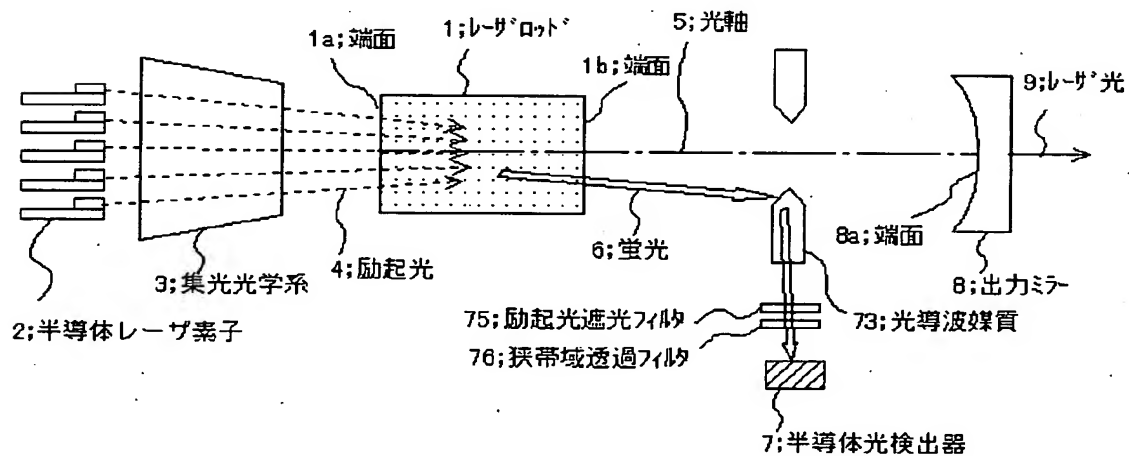
【図 6】



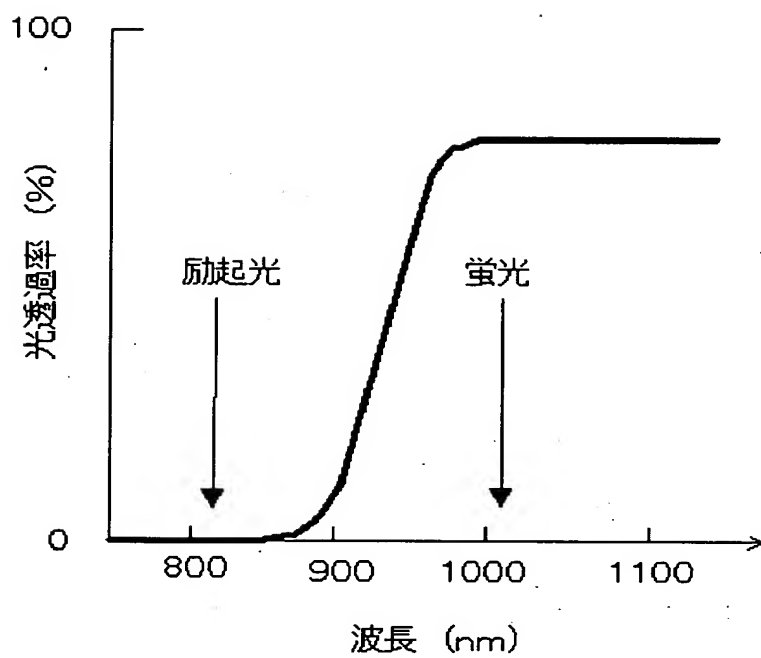
【図 7】



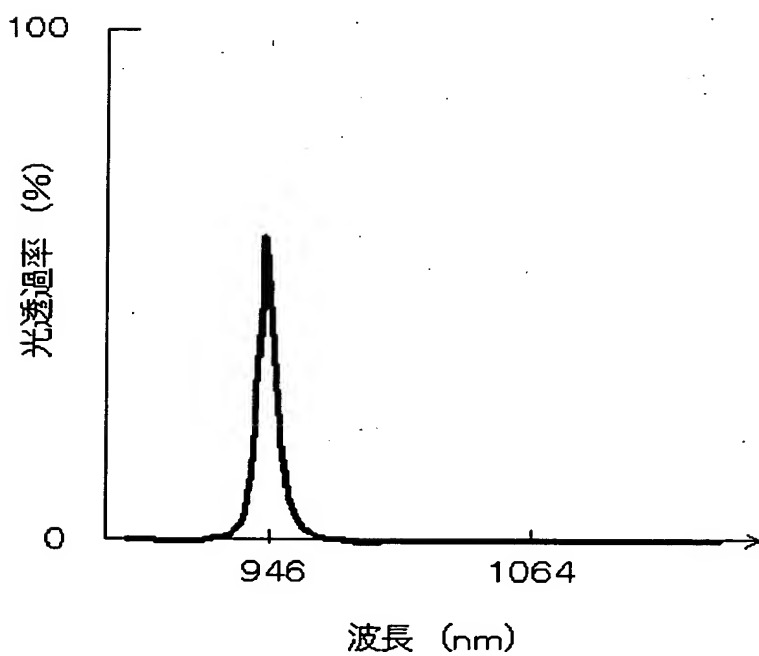
【図 8】



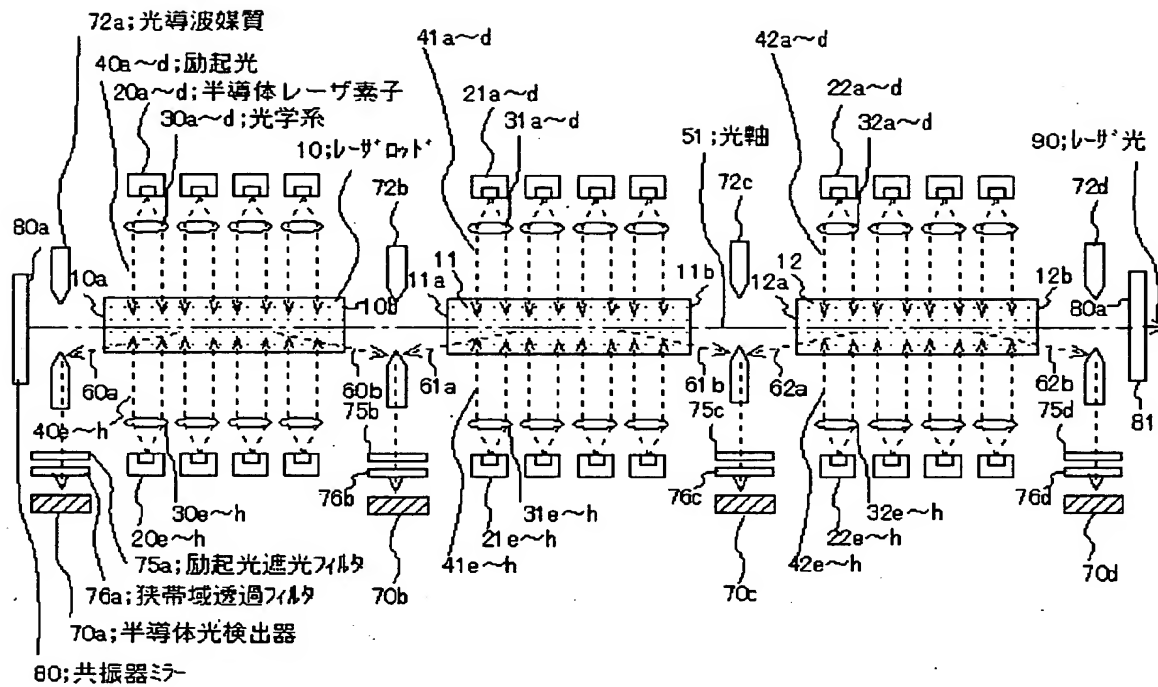
【図9】



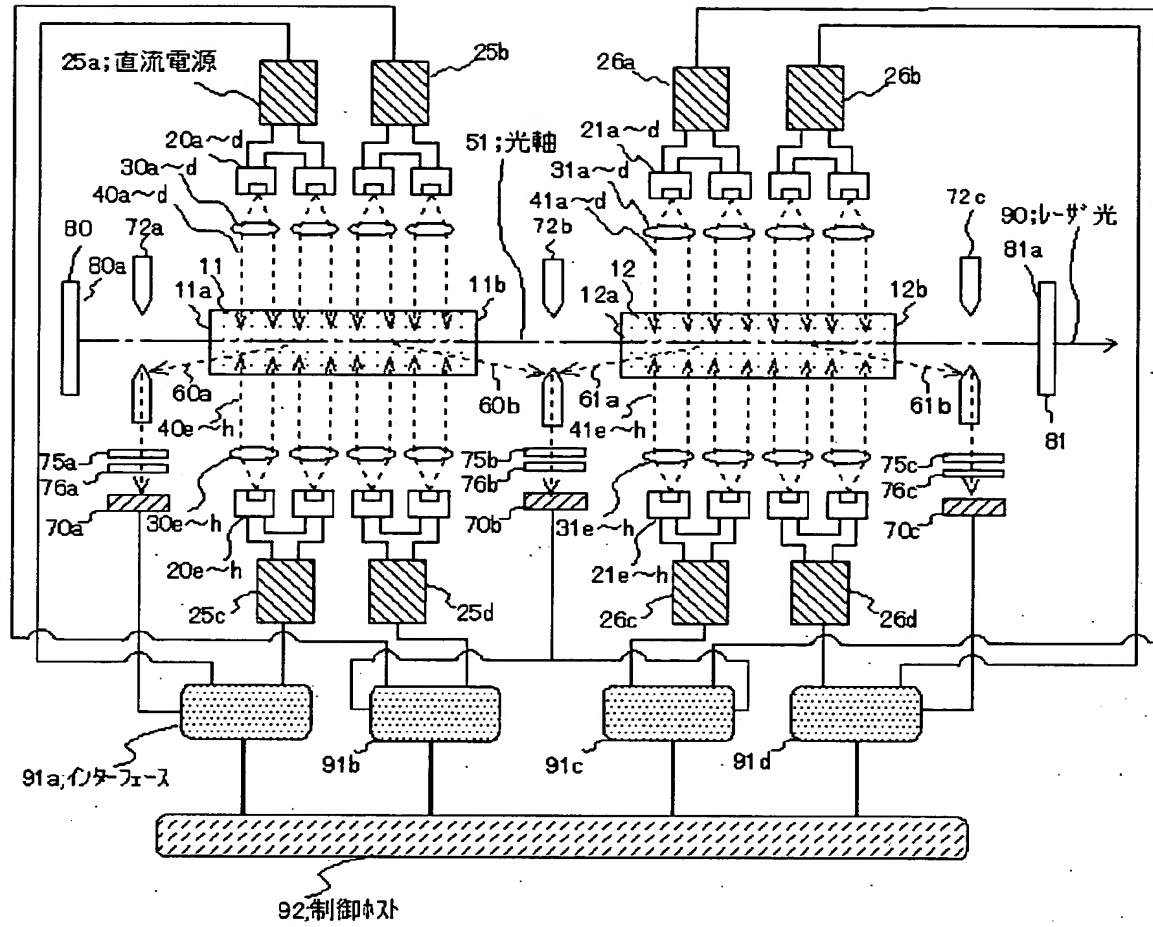
【図10】



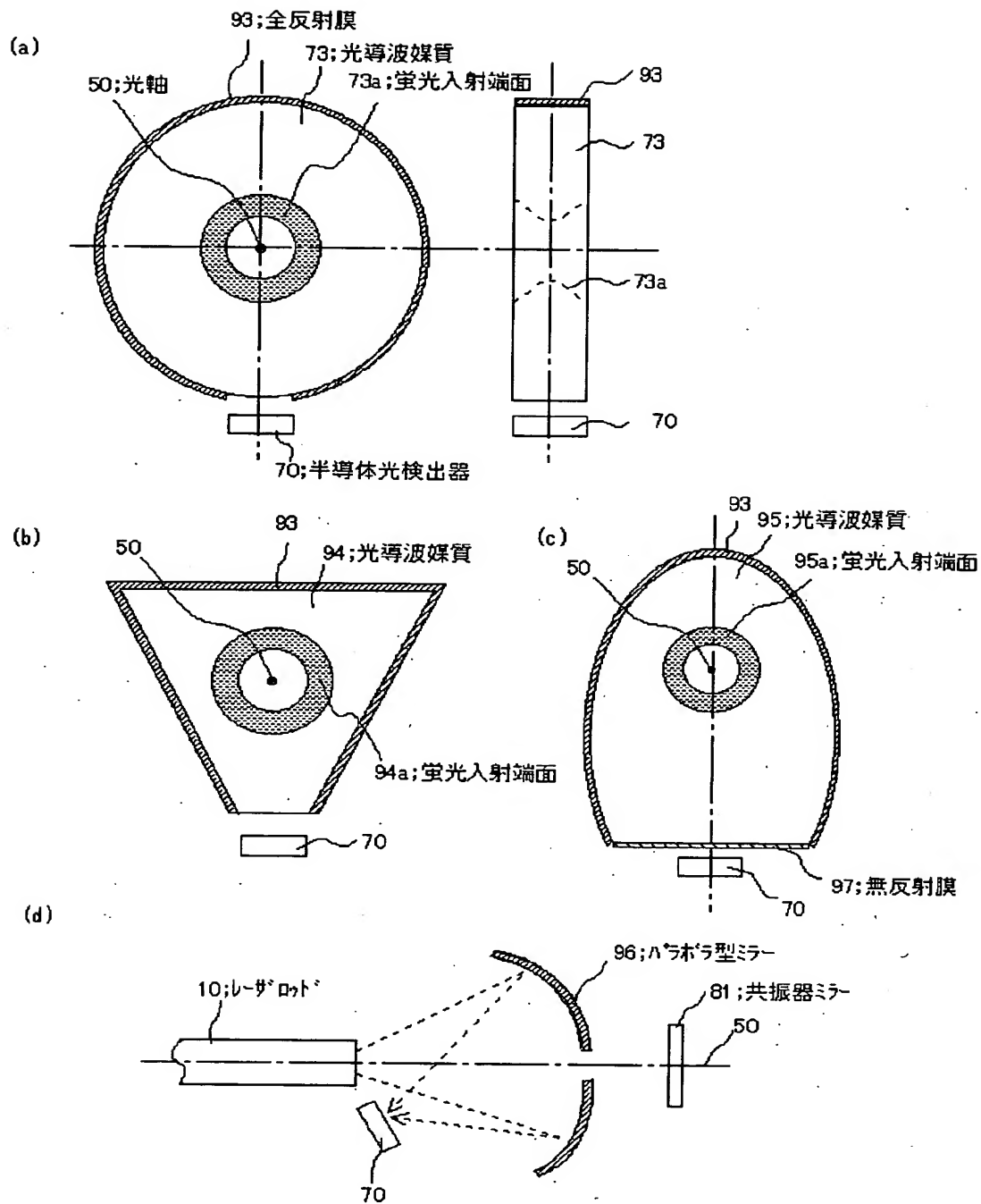
【図 11】



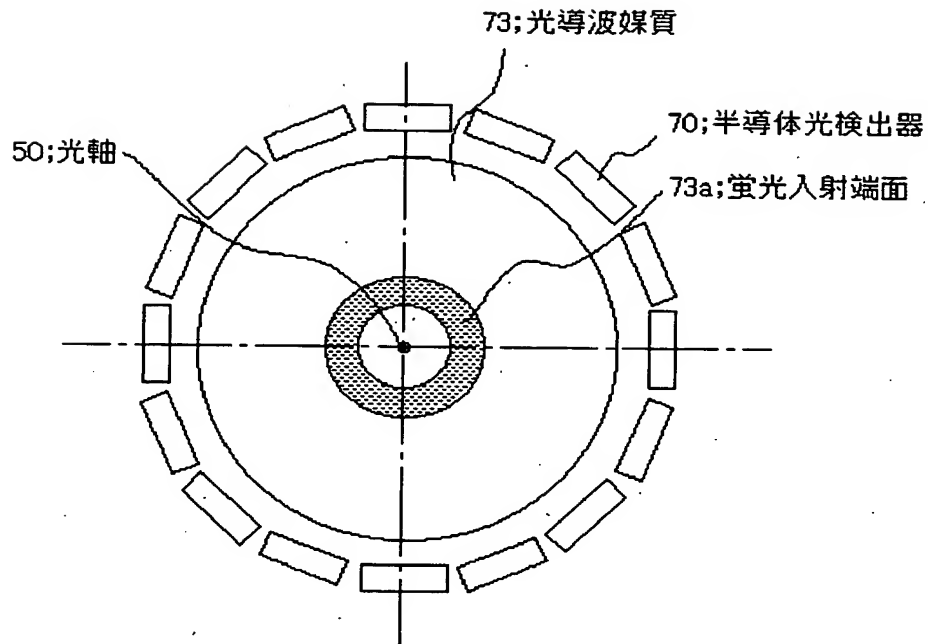
【図12】



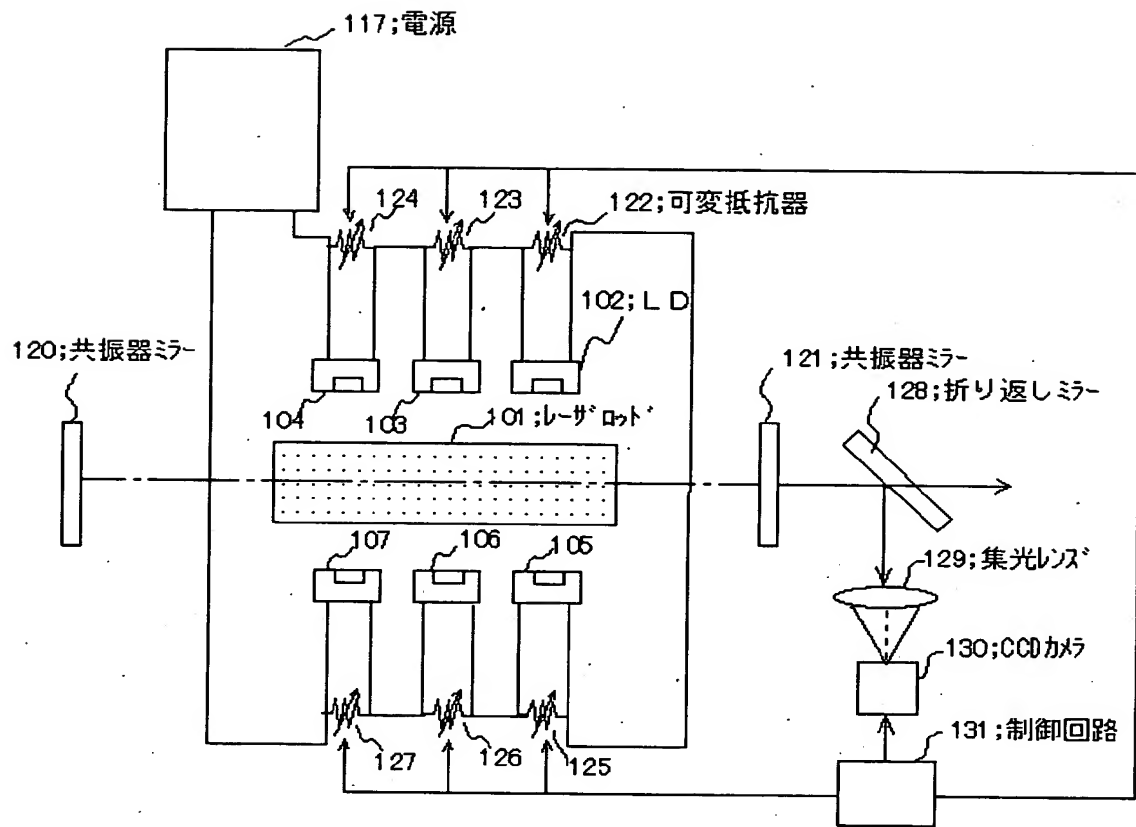
【図13】



【図 1 4】

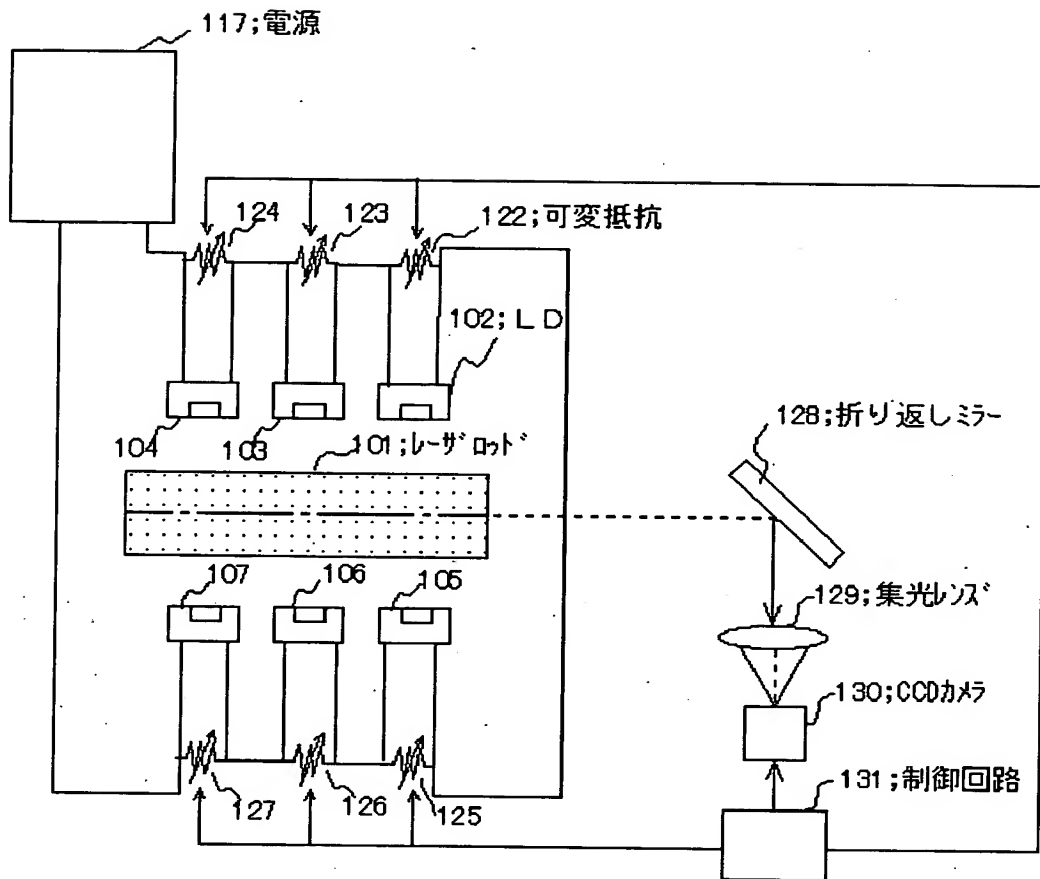


【図15】





【図16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

半導体レーザの劣化の度合いを常時、正確に把握することができる信頼性の高い半導体レーザ励起固体レーザ装置の提供、及び、劣化したLDの度合いに応じて固体レーザ媒質への励起の度合いを補正、調整するための簡便な方法の提供。

【解決手段】

レーザロッド10と、励起光を発生する半導体レーザ素子20a～20hと、レーザ共振器内のレーザ光軸の近傍かつ光軸を遮らない位置に設けた反射ミラー、光導波媒質72等の光学的手段と、蛍光60を検出する光検出器70とを少なくとも有し、固体レーザ媒質から発生する蛍光の量を光検出手段で検出し、その蛍光量と予め定めた値又は予め測定した値とを比較することによって、半導体レーザ光源の劣化状況を常時診断する。

【選択図】

図3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004237]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区芝五丁目7番1号
氏 名	日本電気株式会社